

# FONDEMENTS DE LA RÉALITÉ VIRTUELLE

---

## 3 - CONCEPTION DES INTERACTIONS 3D

ensiiE



[guillaume.bouyer@ensiie.fr](mailto:guillaume.bouyer@ensiie.fr)

[www.ensiie.fr/~bouyer/](http://www.ensiie.fr/~bouyer/)

# TÂCHES ET

---

# TECHNIQUES D'INTERACTIONS

# Types de tâche [Bowman]

---

Tâches élémentaires et fondamentales, souvent combinées pour créer une interaction plus complexe

1. Navigation
2. Sélection
3. Manipulation
4. Contrôle d'application

# Technique d'interaction

---

Met en correspondance

Des **interfaces** ou objets réels

Des **actions**/commandes de l'utilisateur

Des **objets**, représentations et feedbacks **virtuels** qui réagissent

Pour réaliser une ou des **tâches**

# Technique d'interaction

---

Il existe plusieurs techniques « classiques » et beaucoup d'adaptations

Similaire aux patrons de conception (design pattern)

Décrivent des solutions standard pour répondre à des problèmes récurrents d'architecture et de conception des logiciels.

Indépendants du langage de programmation

+ ou – adaptées au contexte et aux besoins

# Sélection

---

Désignation par l'utilisateur d'un objet ou d'un ensemble d'objets cibles dans un certain but

Critères de choix de la technique

- Position relative de la cible (distance, direction...)

- Taille de la cible (ratio /distance)

- Densité des obstacles ou des distracteurs, occultations

- Nombre de cibles

- Tâche suivante

- ...

# Techniques de sélection

## Main virtuelle simple

La plus classique

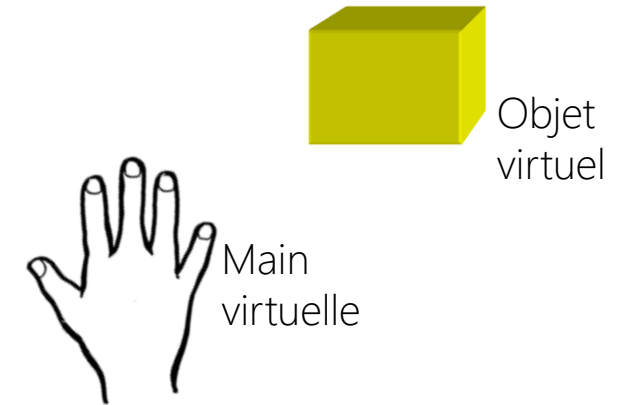
Inspirée par la sélection réelle

Contrôle de la position d'un objet virtuel (« main »)

Le premier objet qui se trouve en intersection avec la main peut être sélectionné

Validation de la sélection

Confirmation de la sélection



Virtual hand (from Poupyrev et al., 1996)

# Techniques de sélection

---

## Main virtuelle simple

### Commandes

Déplacement de la main virtuelle avec 3 données numériques

Déplacement de la main réelle

Rotation de la main virtuelle par 3 données numériques

Rotation de la main réelle

Validation de la sélection

Fermeture de la main, bouton, timer...

### Rendus visuels

Main virtuelle

Main, cube, pistolet...

Animée, rigide

Confirmation de l'objet en cours de sélection

Boîte englobante, couleur...

### Rendu sonore

Confirmation de la sélection validée

bip...

# Techniques de sélection

## Ray-casting

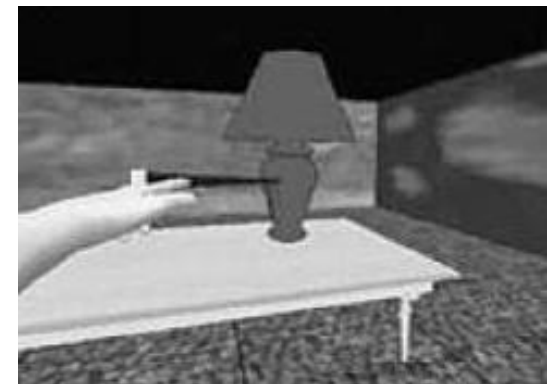
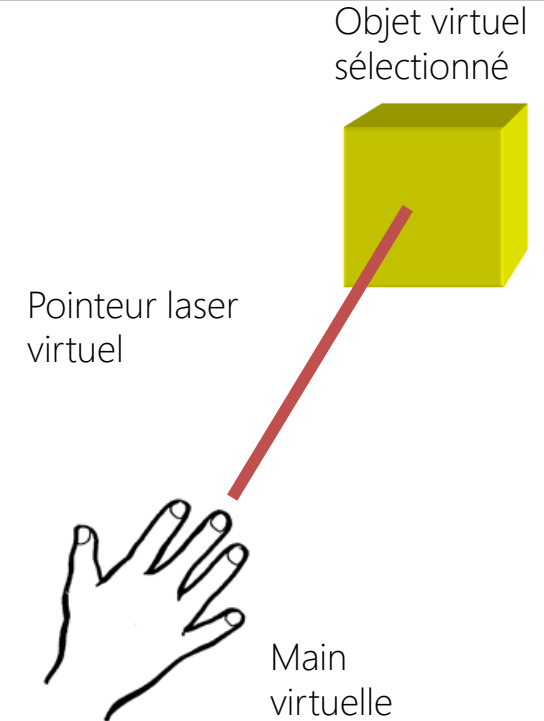
### *Métaphore du pointage du doigt*

Contrôle d'un laser (evt. attaché à une main virtuelle)

Le premier objet qui se trouve en intersection avec le rayon peut être sélectionné

Validation de la sélection

Confirmation de la sélection



# Techniques de sélection

---

## Ray-casting

### Commandes

Orientation du rayon avec 2 données numériques

pointage de la direction par la main...

Translation de l'origine du rayon par 3 données numériques (opt.)

Validation de la sélection

bouton, timer...

### Rendus visuels

Origine du rayon (opt.)

main virtuelle, baguette, flèche...

Rayon laser virtuel

Confirmation de l'objet en cours de sélection

boîte englobante, couleur...

### Rendu sonore

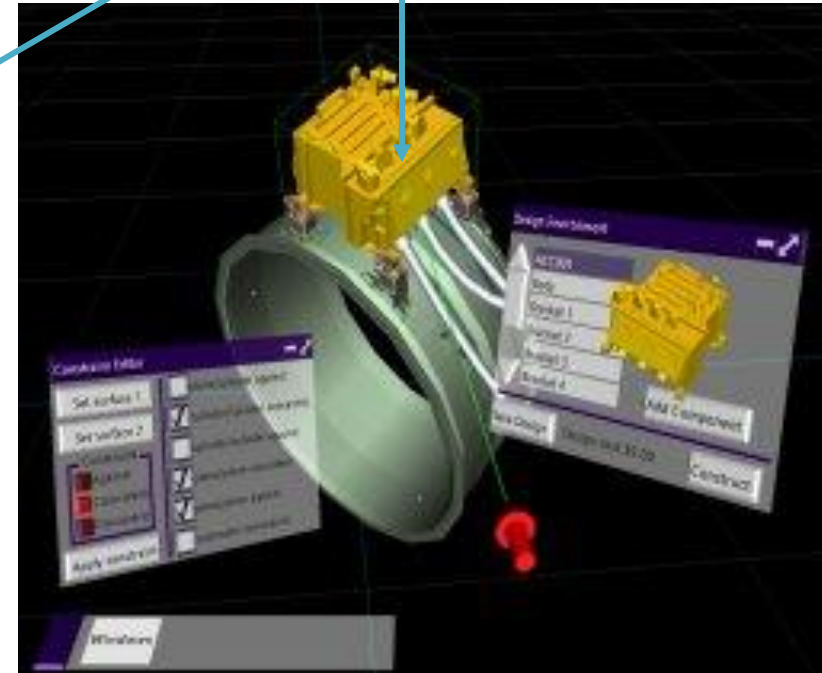
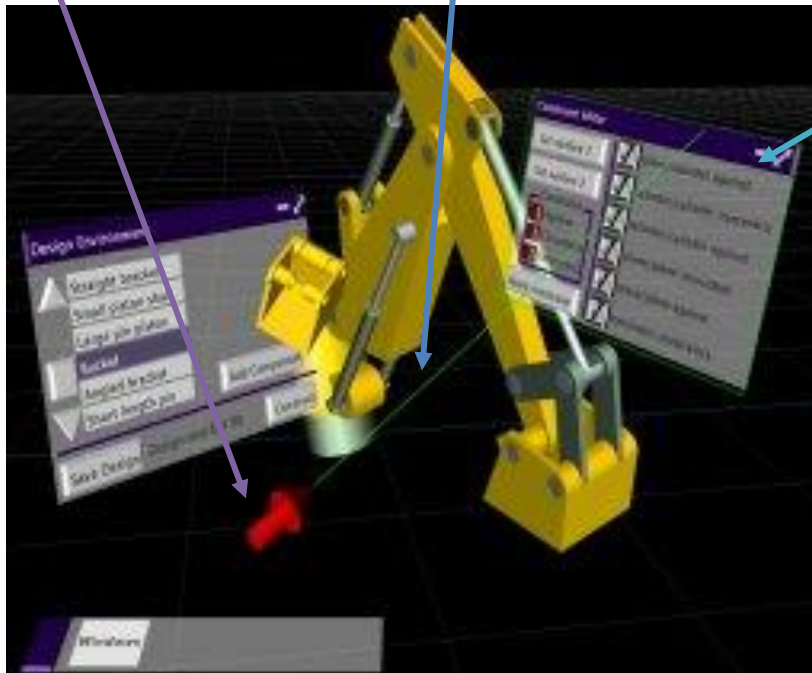
Confirmation de la sélection validée

bip...

# Techniques de sélection

Ray-casting

Pointeur 3D + ray casting pour sélectionner un objet



[Advanced Virtual Prototyping Group N.Murray, 2002]

# Techniques de sélection

---

## Comparaison

### Main virtuelle simple

- Naturel et précis

- Peu rapide pour les objets lointains

### Raycasting

- Rapide pour les objets lointains

- Potentiellement imprécis

- Problème des masquages

# Techniques de sélection

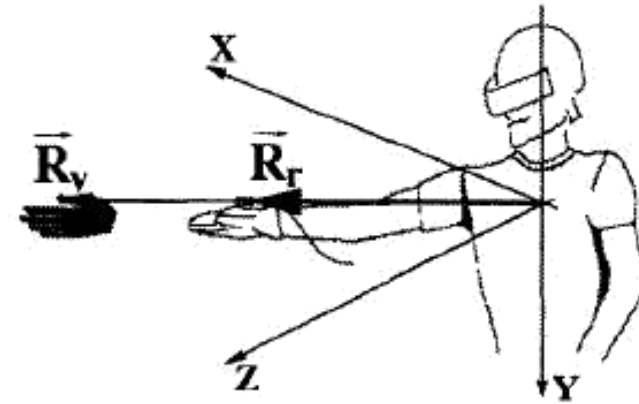
Nombreux travaux

Variations, combinaisons

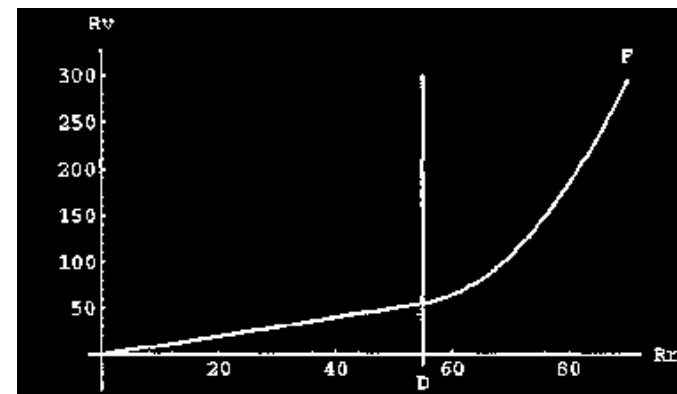
*Ex : Go-go (Arm-extension)*

Usage de l'haptique

Guide attractif...



Position main virtuelle



Go-go technique (Poupyrev 1996)

# Manipulation

---

Spécification/Modification des propriétés d'un objet ou d'un ensemble d'objets virtuels

Géométriques : position, orientation, échelle

Autres : couleur, texture...

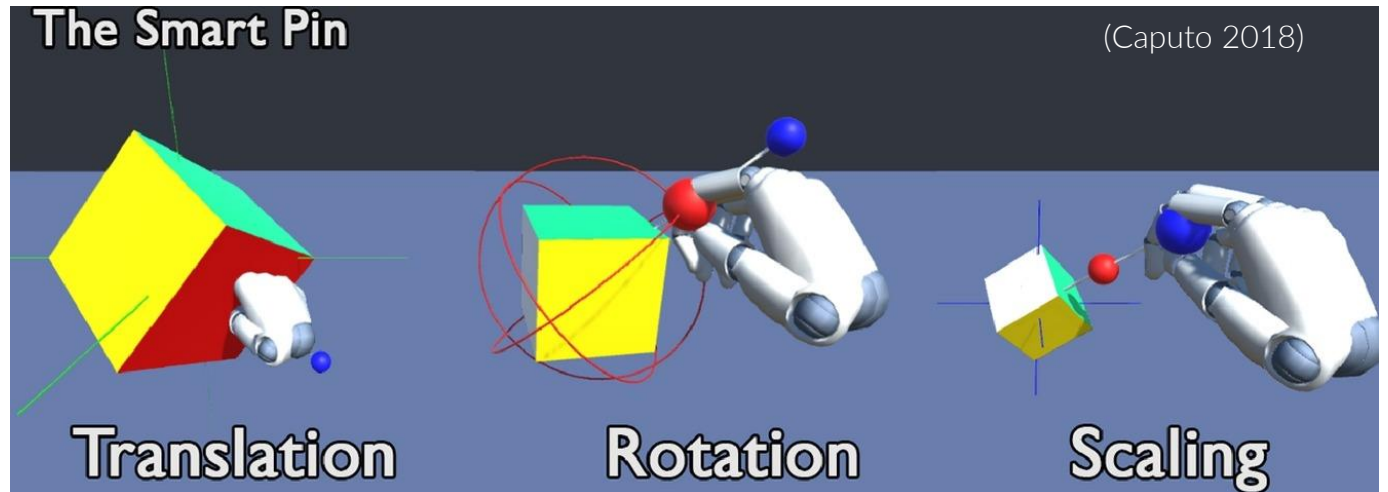
# Techniques de manipulation

Techniques souvent liées à la sélection

Un objet doit être sélectionné avant de le manipuler

La plupart des techniques de sélection peuvent être utilisées pour la manipulation

Main virtuelle, ray cast...



Critères de choix

Type des paramètres d'objets à modifier

Distance et direction du déplacement

Précision requise, contraintes...

# Navigation

---

## 2 composantes

### Déplacement ("Travel") :

- Partie mobile de la navigation

- Déplacement physique d'un endroit à l'autre (déplacement du point de vue)

### Recherche de chemin ("Wayfinding") :

- Composante cognitive

- Prise de décision de navigation ("où suis-je ?", "où dois-je aller ?", "comment arriver là ?")

# Navigation

---

## *Exemples*

Exploration : navigation sans but explicite ni restriction, découverte et connaissance de l'environnement

Recherche de cible :

- Naïve (position cible inconnue)

- Ciblée (position connue par l'utilisateur)

- Assistée (position connue par le système)...

Manœuvre : tâche nécessitant des mouvements courts et précis, changement faible du point de vue

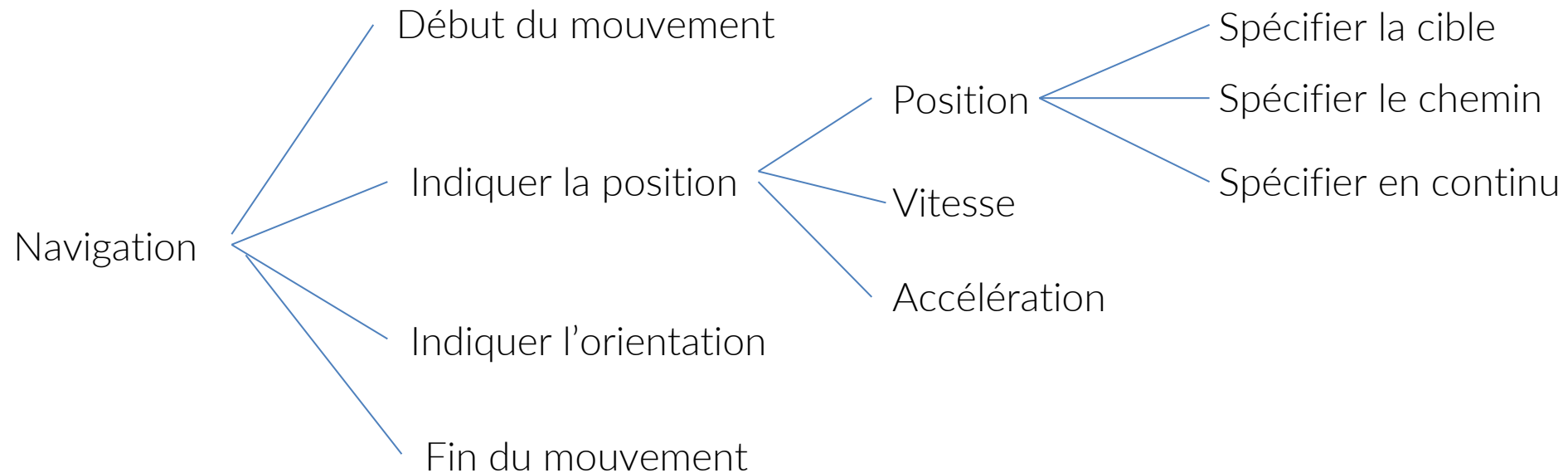
# Techniques de navigation

---

## Principes et commandes possibles

Fournir au système les informations permettant d'effectuer un déplacement de point de vue

Fournir à l'utilisateur les informations permettant la représentation spatiale



# Techniques de navigation

---

Contrôle ponctuel ou limité

Téléportation

Proche contrôle d'application/sélection

Mouvement automatique

Rail

# Techniques de navigation

---

## Contrôle à tout moment

Couplage du point de vue avec les mouvements de la tête

Mode le plus proche de la navigation naturelle : intuitif et égocentrique

Peut être contraignant et/ou inconfortable

Couplage du point de vue avec les mouvements de la main

"Scène dans la main" : modifie la position/orientation de la scène virtuelle

"Caméra dans la main" : modifie la position/orientation de la caméra sur la scène virtuelle

"Conduite de véhicule"

Carte (map-based travel) ou Monde en miniature

Gestes de la main (grabbing the air)

# Techniques de navigation

---

Critères de choix [Bowman 97]

Facilité d'apprentissage/d'utilisation

Confort

Vitesse

Précision

Conscience spatiale

Connaissance de l'utilisateur de sa position et de son orientation dans l'environnement virtuel pendant et après la navigation

Capacité de l'utilisateur à collecter des informations pendant le voyage

Présence

# Contrôle d'application

---

## Principes

Regroupe les techniques d'interaction *indirecte* sur l'application, l'environnement et/ou les données

- Exécuter une application

- Changer l'état du système

- Choisir et paramétrer la tâche en cours

Commande souvent explicite et parfois implicite

# Techniques de contrôle

Techniques souvent liées aux 3 autres tâches

Utilisation directe des interfaces (boutons...)

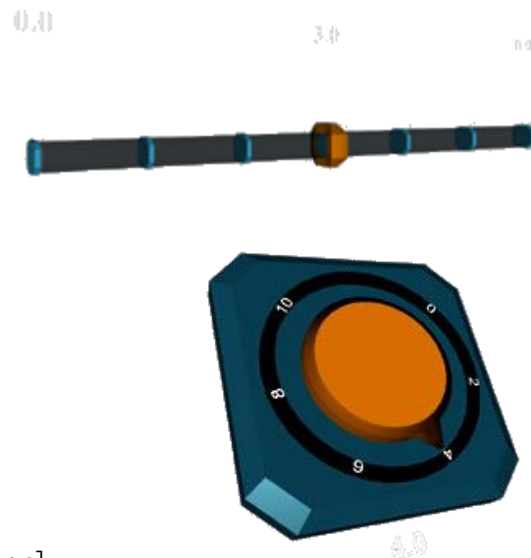
Menu/widget 3D ou 2D => sélection

Commande vocale

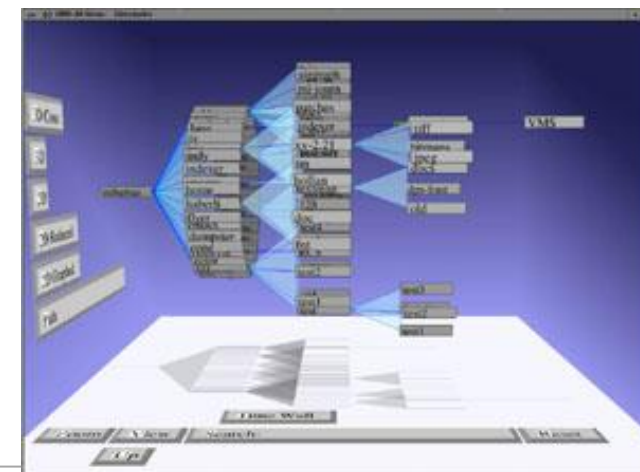
Gestes explicites



[Gorilla Exhibit menu, Bowman et Hodges]

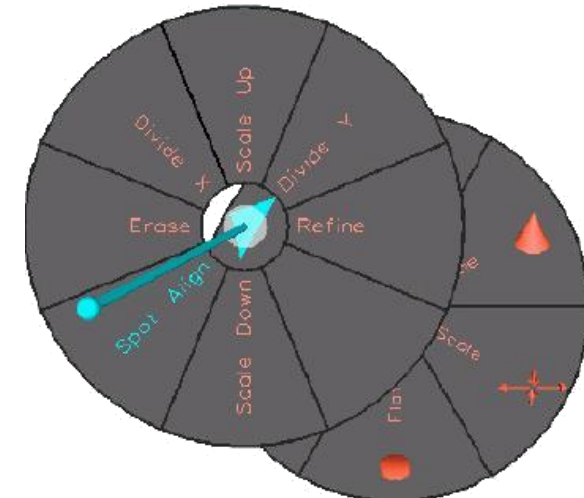


[Hinz]



[Robertson]

[Liang]



[Shaw et Green]



[Wloka]

# Tâches d'interactions en pratique

---

Ces tâches fondamentales sont les éléments de base pour construire des interactions plus complexes

*Exemple* : Incision dans un simulateur chirurgical

S'approcher de la table d'opération = **navigation**

Saisir un scalpel virtuel = **sélection**

Déplacer lentement le scalpel le long de la ligne d'incision souhaitée = **manipulation**

Commandes au système = **contrôle** d'application

Afficher un menu virtuel = **manipulation**

Choisir un élément du menu = **sélection**

# Exercice

---

Dans les démos Quest que vous avez testées

Identifiez les tâches de navigation, sélection, manipulation et contrôle

Décrivez la manière de les réaliser



Quest First Steps

# Exercice

---

1. Choisissez une application dans le cours n°1
2. Identifiez les tâches de navigation, sélection, manipulation et contrôle  
Par quels moyens matériels et logiciels ces tâches sont mises en œuvre ?  
Quelles sont les contraintes de ces tâches dans l'application choisie ?

# Exercice

---

## Techniques de navigation

Proposez des interactions possibles avec tous types d'interfaces pour naviguer dans un monde virtuel plan (ex. ville), c'est-à-dire fournir à une caméra virtuelle :

- Une position 2d

- Une orientation 2d

# Projet

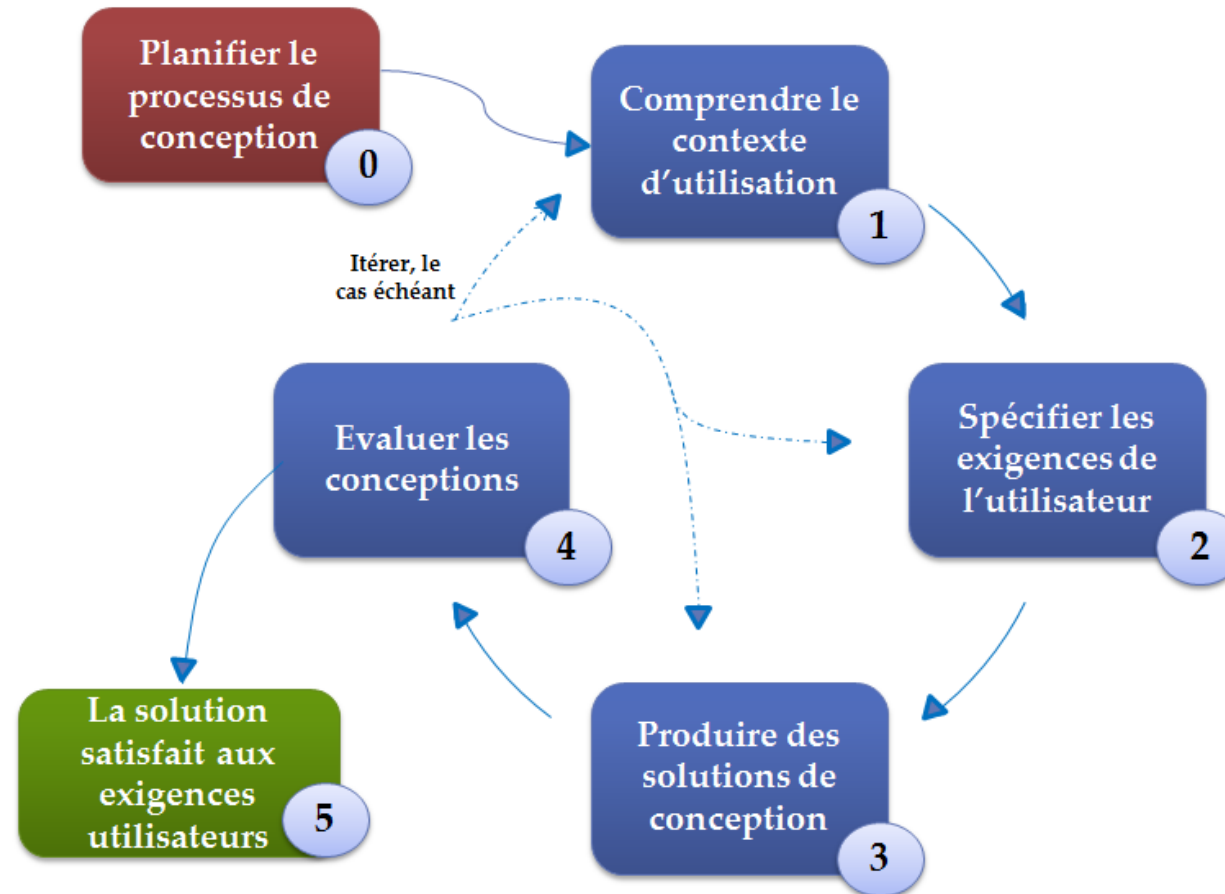
---

Analyse

A top-down view of a design studio desk. The desk is covered with various items: a laptop, several sheets of paper with design sketches and color swatches, a color palette, and a collection of fabric swatches. A person's hands are visible, interacting with the materials. The overall scene is dimly lit with a blue tint.

# PRINCIPES DE CONCEPTION & DEVELOPPEMENT

# Conception centrée utilisateur



J. Veytizou, G. Thomann, F. Villeneuve. Un produit universel pour une interface sur mesure.  
Colloque Jeunes Chercheurs et Jeunes Chercheuses, Jun 2013, France.

# Analyse des besoins des utilisateurs

---

Quelle activité/objectif dans l'environnement virtuel ?

Explorer, comprendre, analyser, se former, se divertir...

Contexte

Analyse de l'activité existante (non RV)

Quelle part conserver en réel ? Quelle part virtualiser ?

Quel comportement/bénéfice attendu du système ?

Quel(s) profil(s) utilisateur(s)

Capacités sensori-motrices, nombre, expertise, préférences

Quelles contraintes (techniques, usage...) ?

Empathie :

comprendre l'expérience, la situation des personnes qui vont utiliser (observer, discuter, analyser les réactions et le besoin

NB : Vous n'êtes pas vos utilisateurs

# Etat de l'art

---

Détermination des problématiques

Analyse des solutions existantes aux problématiques

Recherche d'applications sur étagère

Recherche d'articles scientifiques (synthèse bibliographique)

Etude de concurrence

Recherche dans des domaines différents

# Document de conception

---

1. Informations factuelles
    - a. Nom du projet
    - b. Entreprise/labo/auteurs impliqués
    - c. Date
  2. Objectif
    - a. Contexte général
    - b. Utilisateurs visés
    - c. Objectif de l'application
  3. Interfaces et environnement réel
  4. Environnement virtuel
    - a. Contenu virtuel : métier, visuel, audio... statique et dynamique
    - b. Interface graphique
  5. Interactions
    - a. Scénario, flow d'application
    - b. Tâches
      - a. Spécificités & contraintes liées aux besoins
    - c. Techniques, commandes/actions et effets/feedbacks, assistances/guides
      - a. Relations de temps, espace, dépendances..., activations/désactivations, en cas de simultanéité vérifier la compatibilité
- Illustrations, schémas...

# Choix des interfaces

---

En théorie, interfaces devraient servir les interactions et être choisies après la conception

En pratique, sont souvent des contraintes de l'application : approche techno-centrée

Ne doivent pas être le point de départ de la conception

Ne doivent pas aller à l'encontre des besoins

Connaitre leur potentiel et leurs limites

*Ex : HMD vs. Cave vs Moniteur, Kinect vs Leap Motion, Meta Quest vs Apple Vision Pro...*

# Développement itératif

---

Choix d'un moteur

Bonnes pratiques classiques

- Qualité de code : évolutif, modulaire...

- Couches d'indépendance vis-à-vis du matériel

- Profiling et optimisation des performances

- Gestion de version

...

Prototype

- Basse fidélité (rapide et peu cher)

- Tangible

- Répond à un objectif/besoin

- Dans un proto brut, on voit le potentiel, dans un proto raffiné, on voit les pbs

# Développement itératif

---

## Etapes proposées

Base simplifiée de l'environnement virtuel

Echelles ⚠

Organisation spatiale des éléments, repères ⚠

Comportements obligatoires

Interactions de base pour chaque tâche : se concentrer sur l'essentiel

Maitrise des interfaces : forces et faiblesses

Navigation, sélection, manipulation, contrôle

Itérations

Amélioration du programme

Architecture, modularité, indépendance matérielle, réseau...

Comportement complet

Gestion des données métier

Raffinement des techniques

Feedbacks sensoriels

Guides virtuels

...

# Tests itératifs !

---

## Tests !

La RV et les I3D sont intrinsèquement liées à la notion d'expérience utilisateur (UX)  
Tout choix de conception/développement influe sur l'utilisabilité de l'application et la perception des informations

Tests avec les utilisateurs finaux ou des participants représentatifs : vous n'êtes pas les utilisateurs !

Différentes méthodes des plus informelles aux plus scientifiques

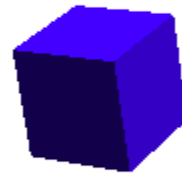
Compléments conception & UX

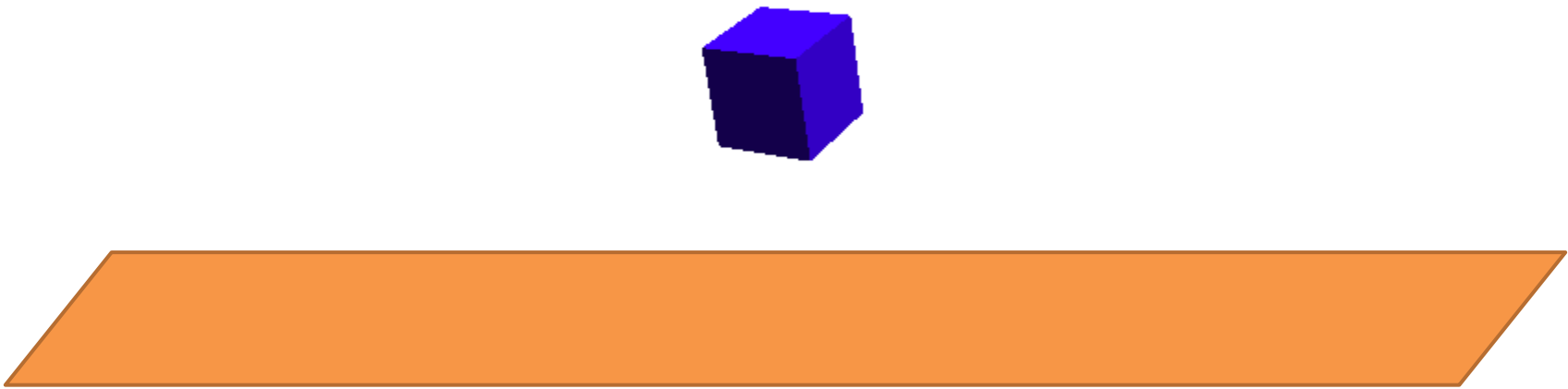
<https://fr.slideshare.net/marknb00/comp-4010-lecture-5-interaction-design-for-virtual-reality>

# PERCEPTION D'UN ENVIRONNEMENT VIRTUEL

---

## *EXEMPLES*

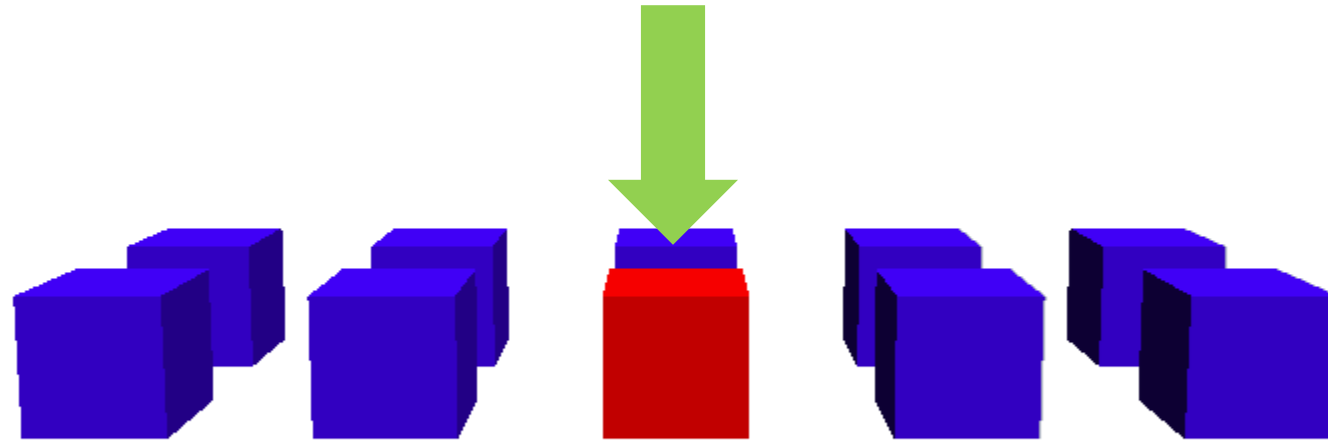






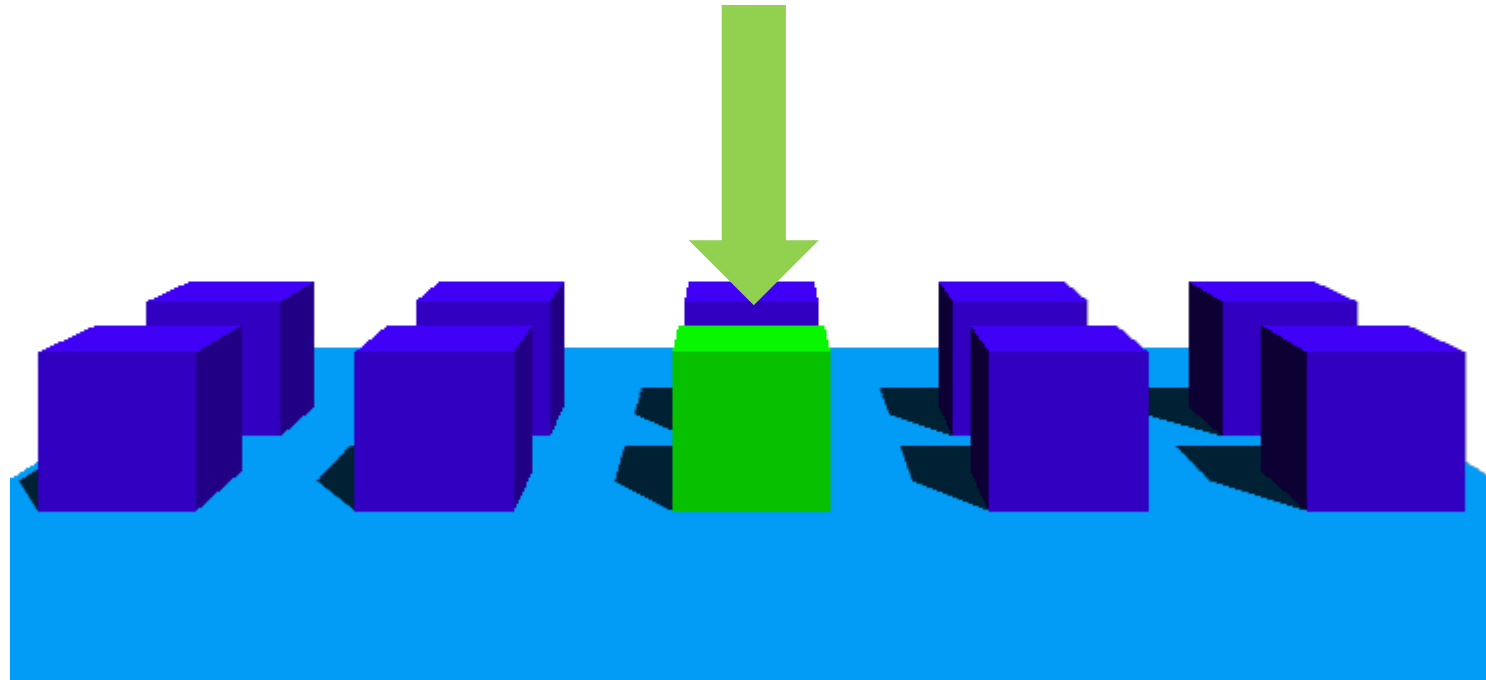


Ne pas toucher les cubes bleus



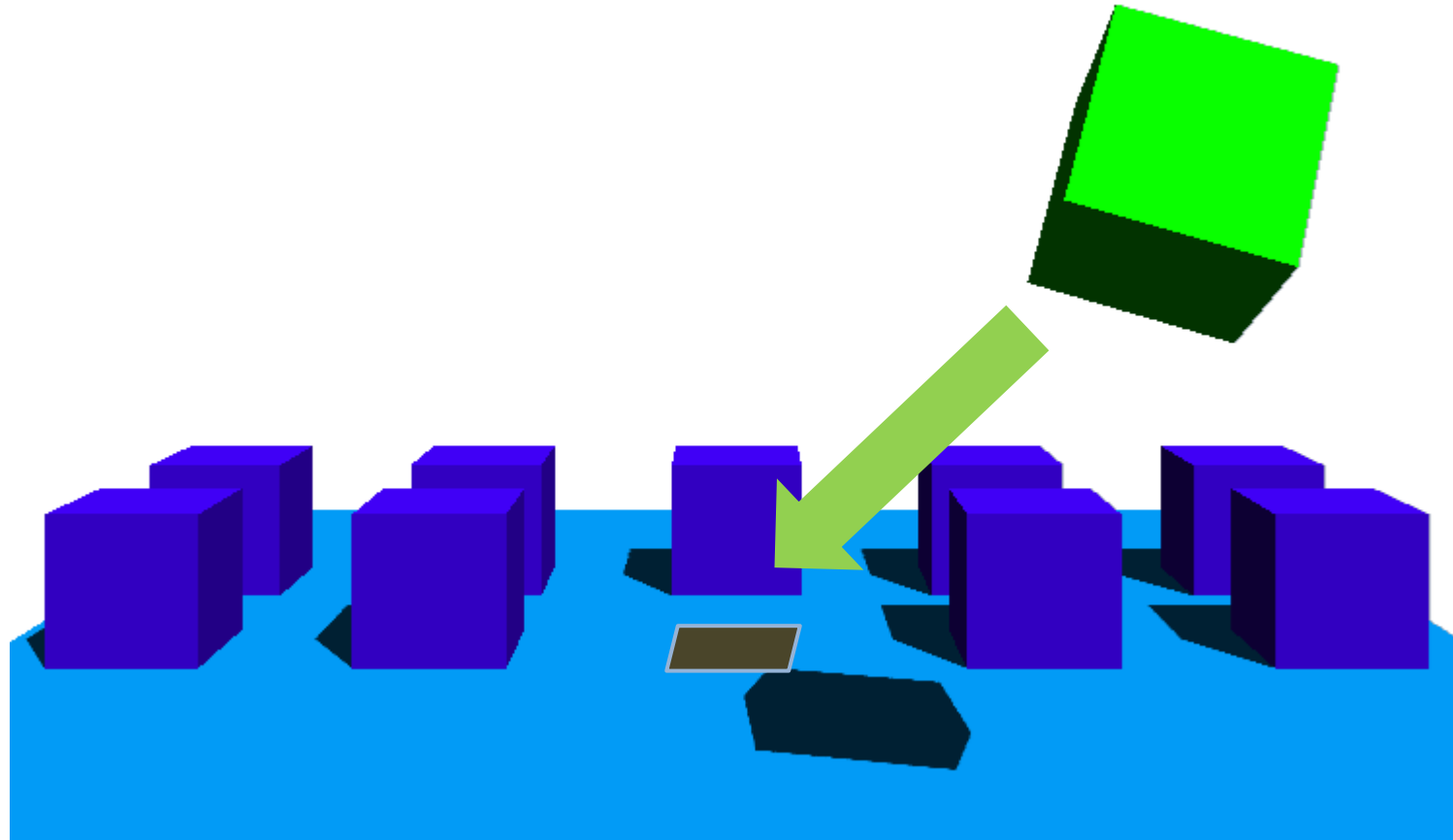
# Sélection ?

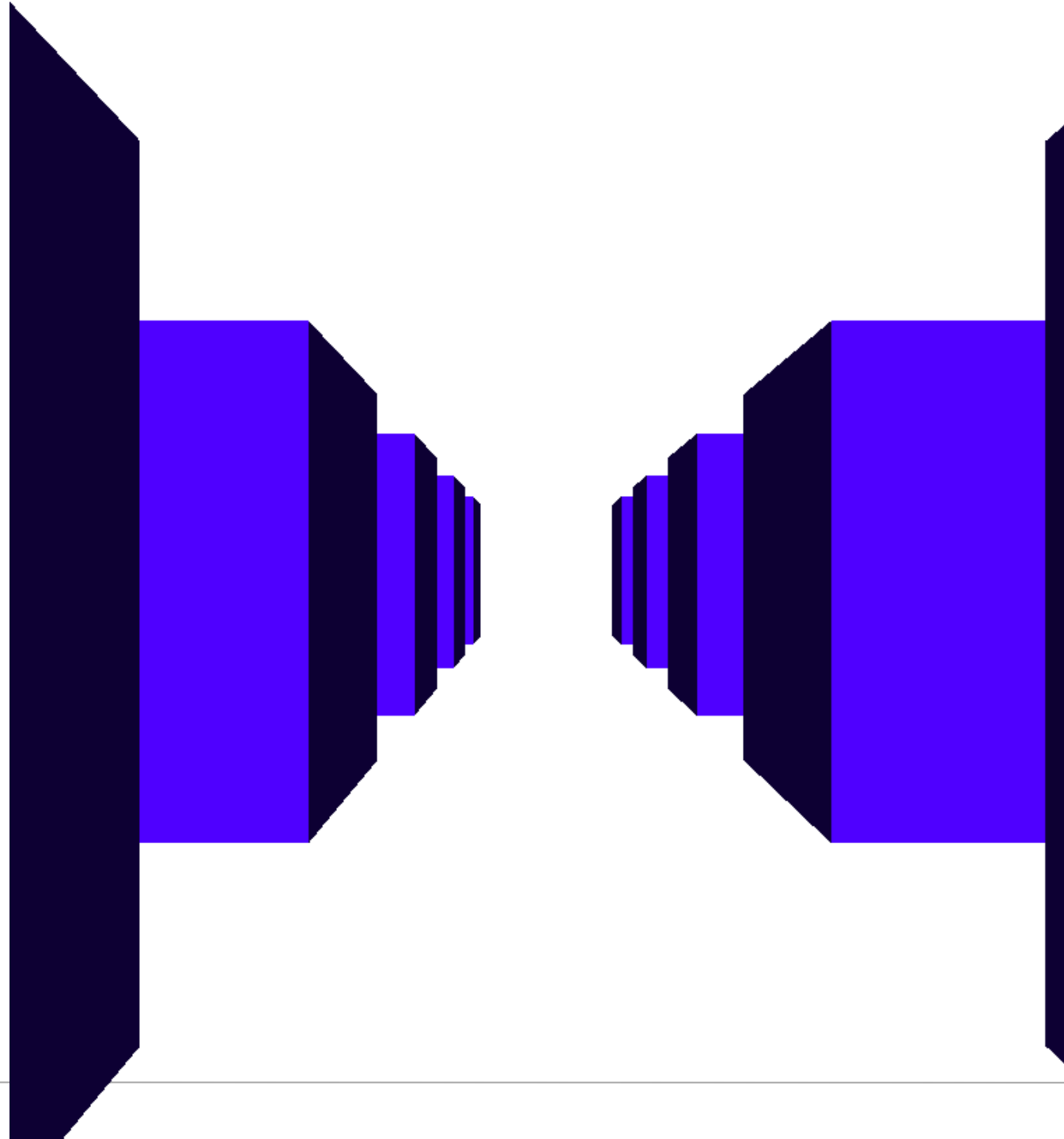
---

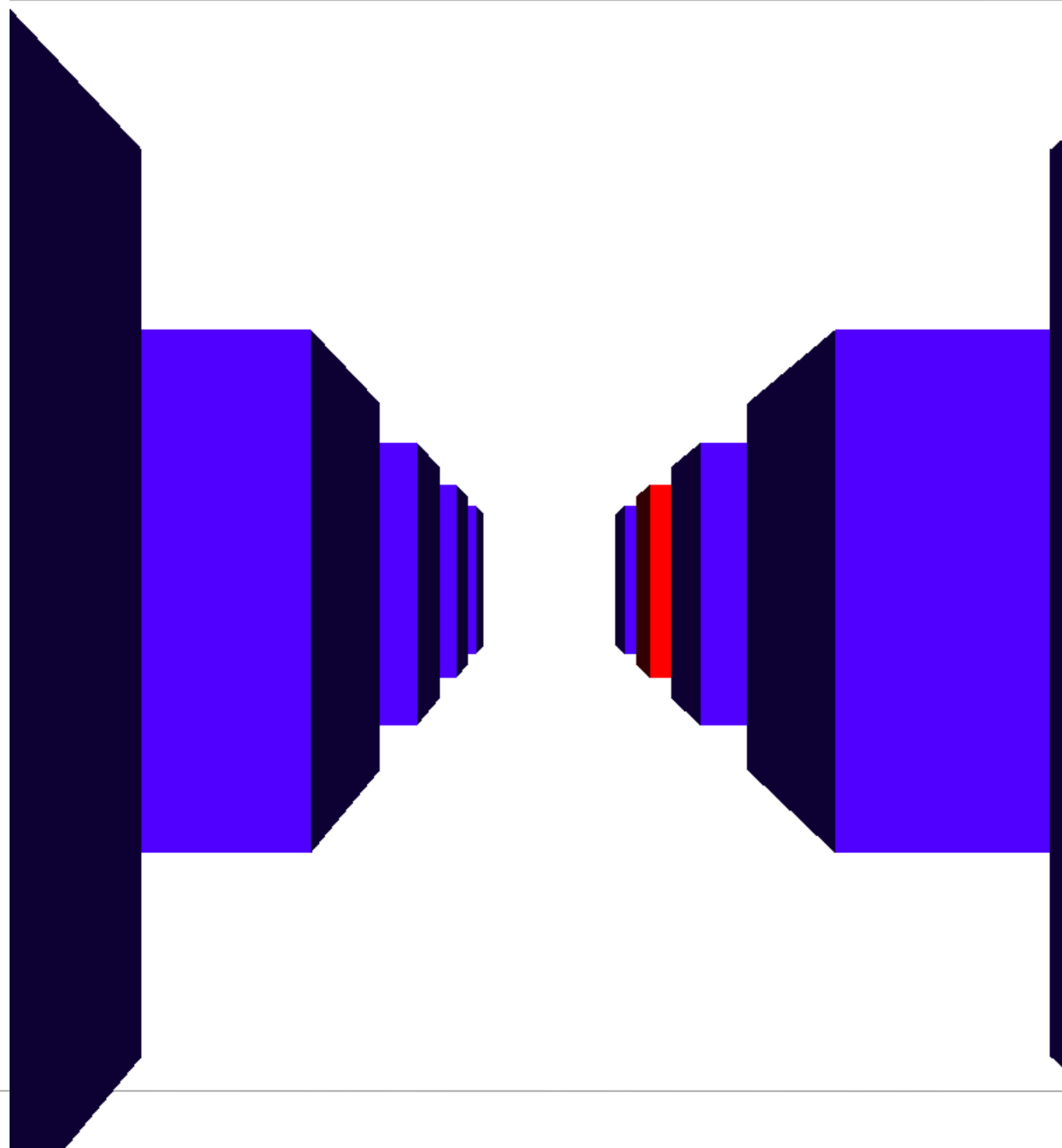


# Manipulation ?

---

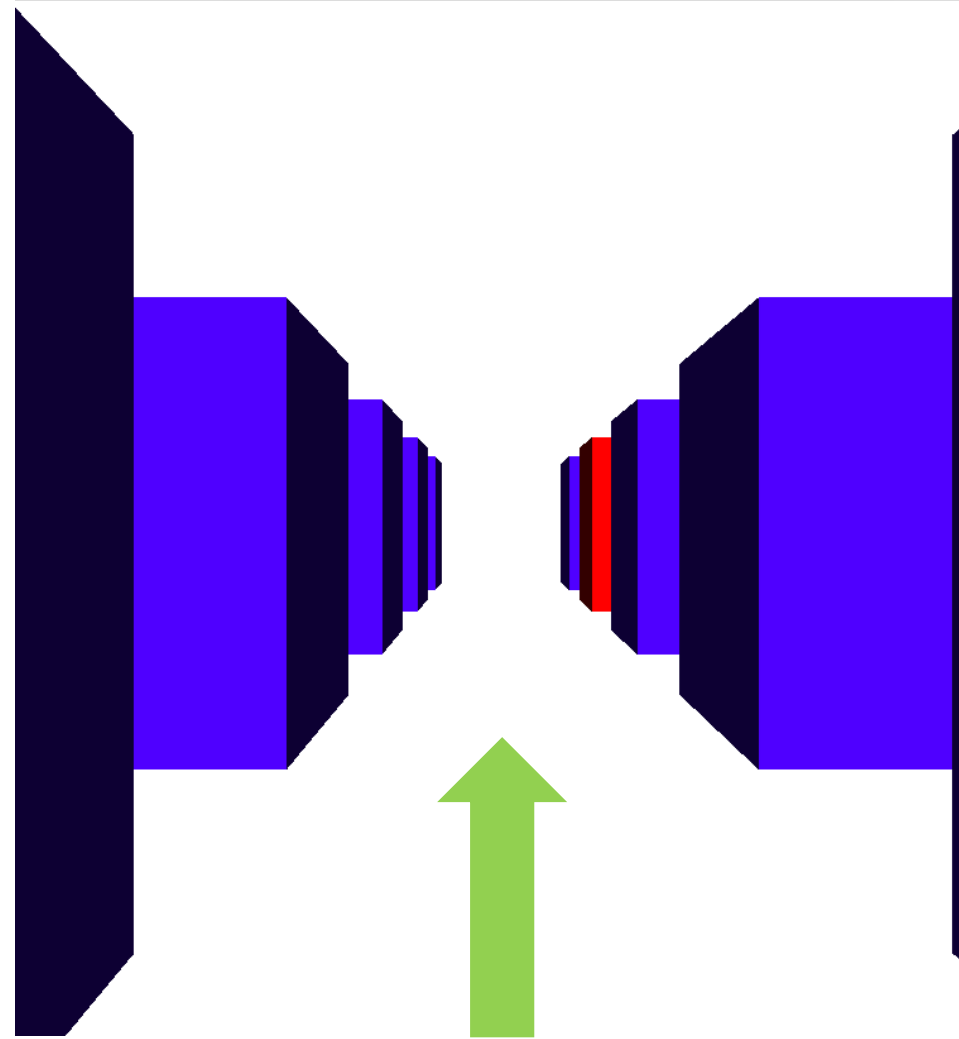






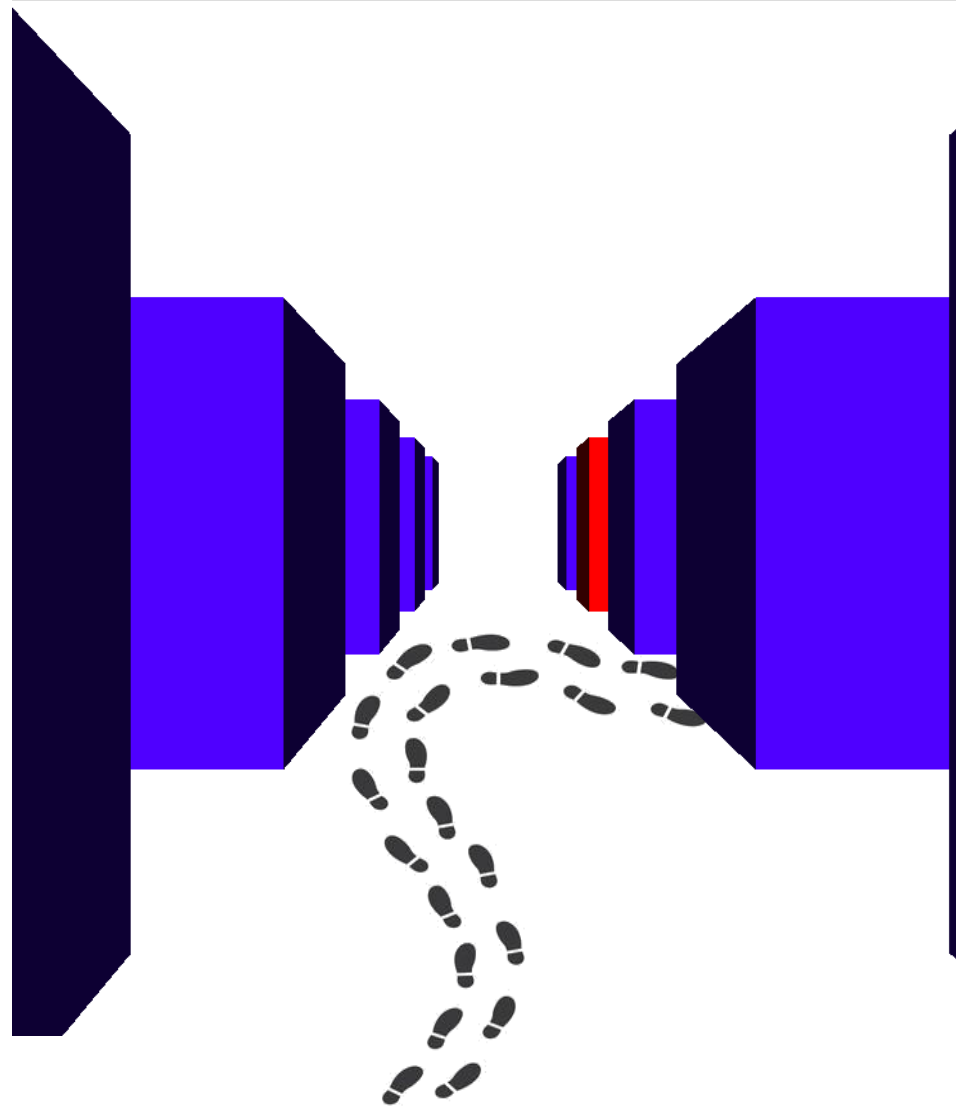
# Navigation ?

---



# Navigation ?

---



# DECOUVRABILITE

---

Photo by Luke Richardson on Unsplash

# Découvrabilité

Besoin de déterminer ce que fait le système, comment il fonctionne, quelles actions sont possibles, l'état actuel du dispositif...

Doit fournir des informations pour construire un modèle conceptuel de l'environnement

Lié à des concepts psychologiques tels que

Feedback

Affordances

Contraintes

Sentiment de contrôle



A close-up photograph of a wooden door handle and keyhole, set against a blue background. The handle is a simple, dark-colored lever. The keyhole is a standard, oval-shaped hole with a keyhole symbol. The wood grain is visible on the door. The image is overlaid with a blue gradient and a white horizontal line.

# AFFORDANCES

# ET SIGNIFIERS

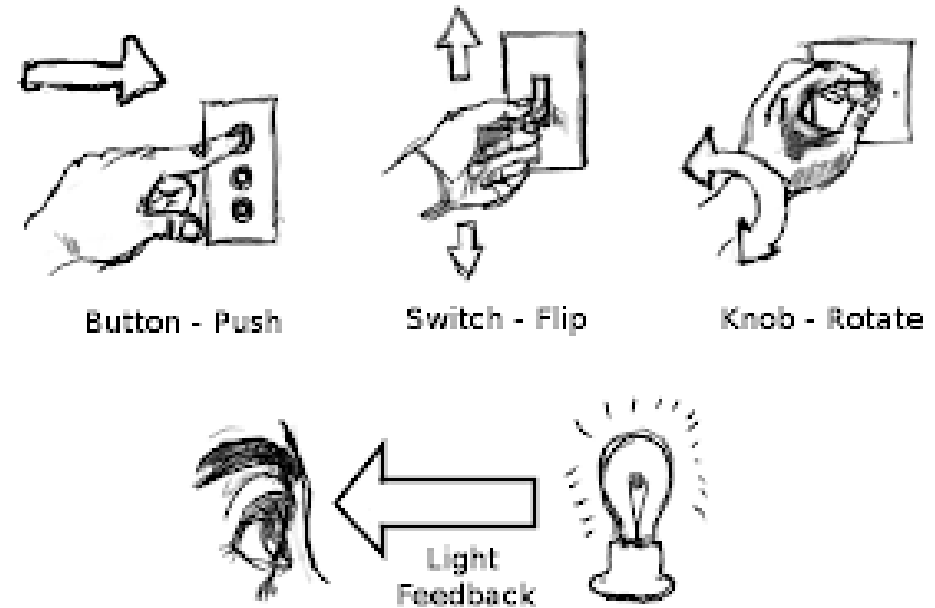
# Affordances (Gibson 1986)

Une propriété d'un objet ou d'un environnement qui communique un moyen de l'utiliser.

Hyperlien, poignée de tiroir...

"La forme suit la fonction"

Pas facile à mesurer



# Affordances (Norman 2013)

Affordance = la relation entre  
un objet et ses propriétés  
une personne et ses capacités

Les interactions possibles entre les personnes  
et l'environnement

Anti-affordance = prévention de l'interaction.

Ex :

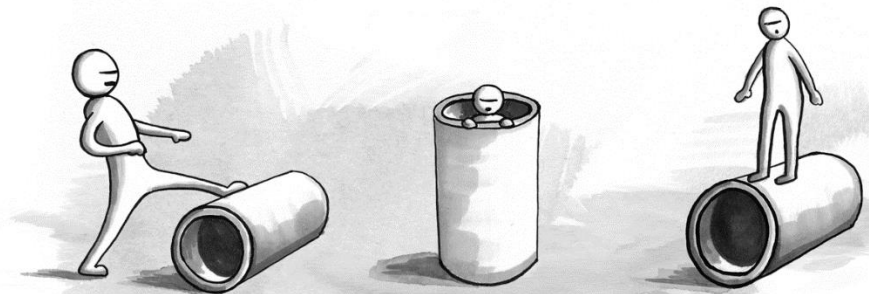
La chaise permet de (*afford, is for*) s'appuyer,  
s'asseoir et se lever.

Le verre permet la transparence mais empêche  
le passage

Submit

Submit

Submit



# Signifieurs (Norman 2013)

---

Les composants de signalisation des affordances

Indicateur perceptible pour communiquer le but, la structure et le fonctionnement de l'appareil aux personnes qui l'utilisent.

Délibérée ou involontaire

Ex : localisation de l'action

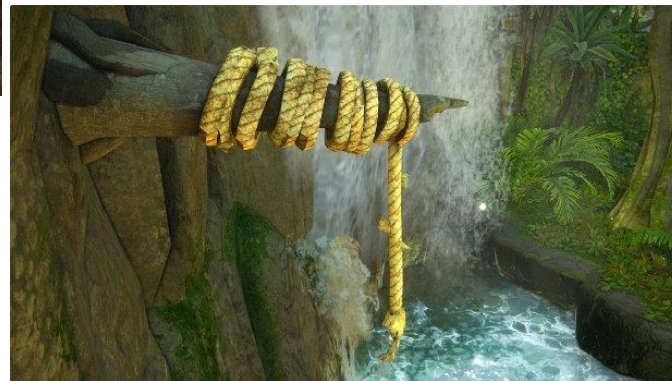


# Fausses affordances

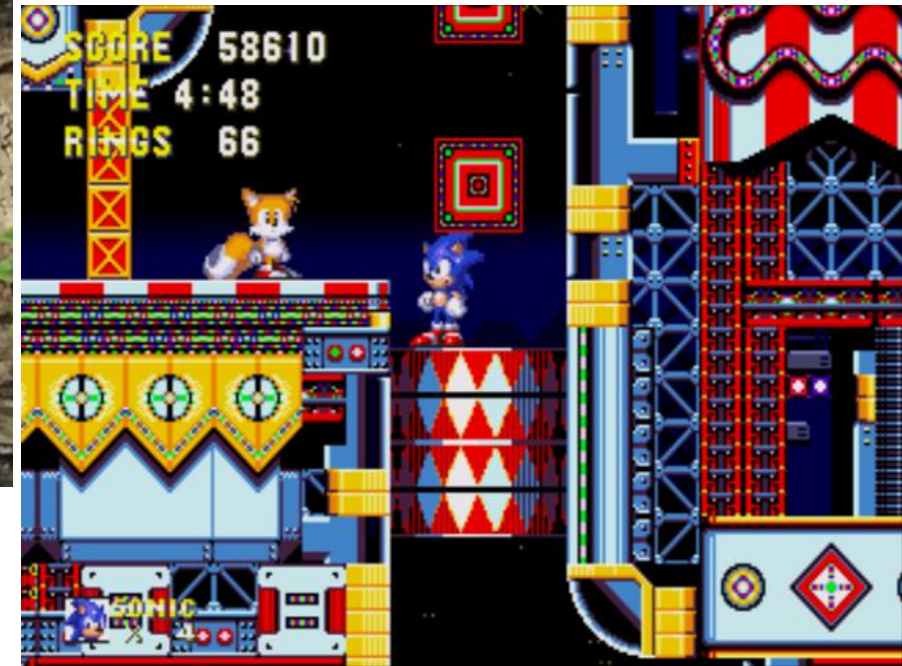


# Affordances & Signifiens dans les jeux

En game design, utilisé pour indiquer aux joueurs comment interagir avec l'environnement, les objets ou pendant le combat.



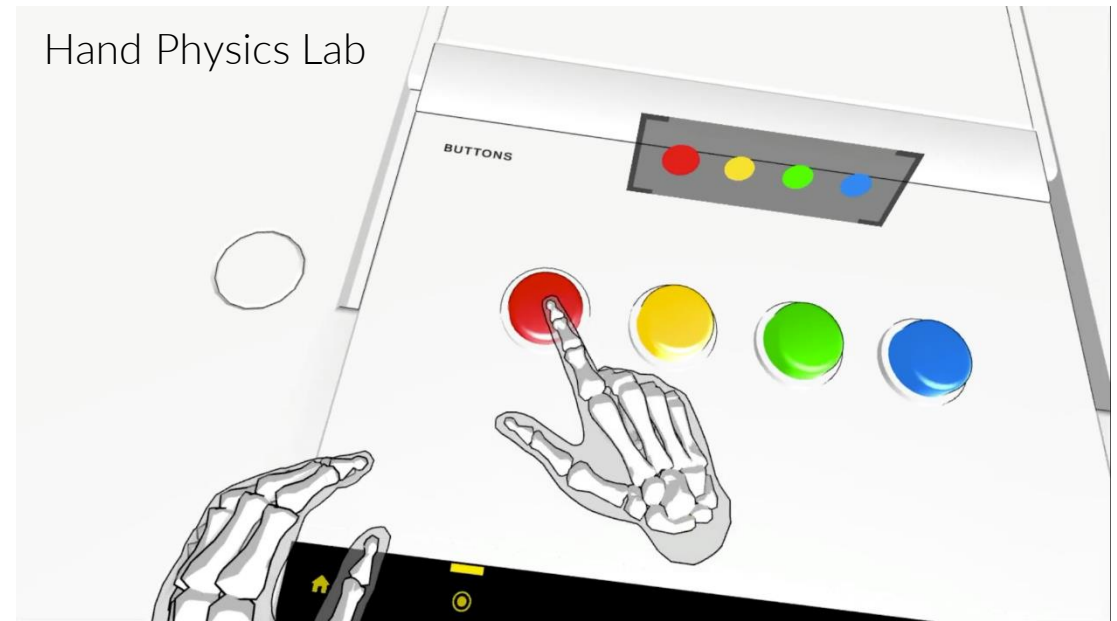
Zones d'escalade et de balancement de la corde d'Uncharted 4



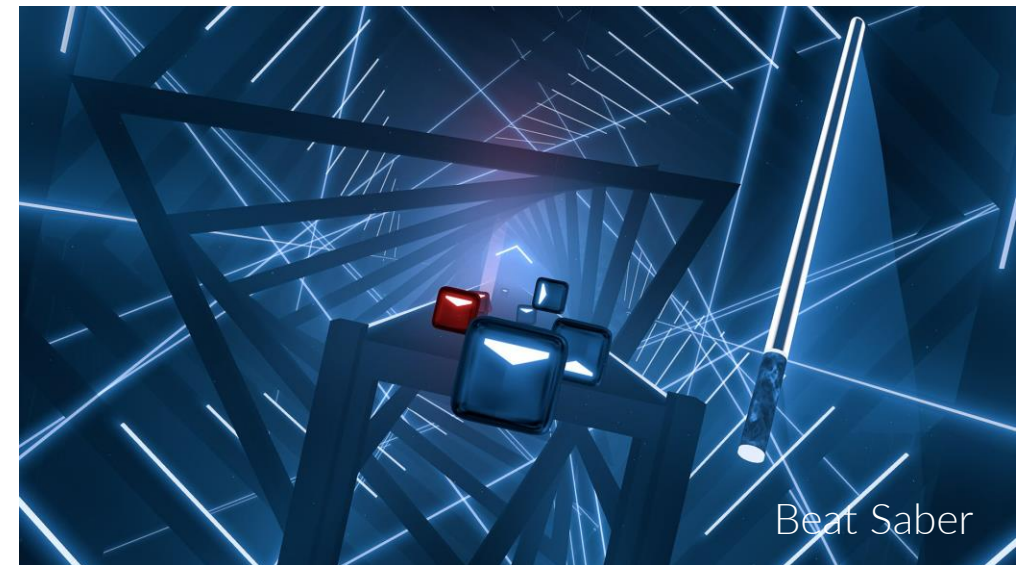
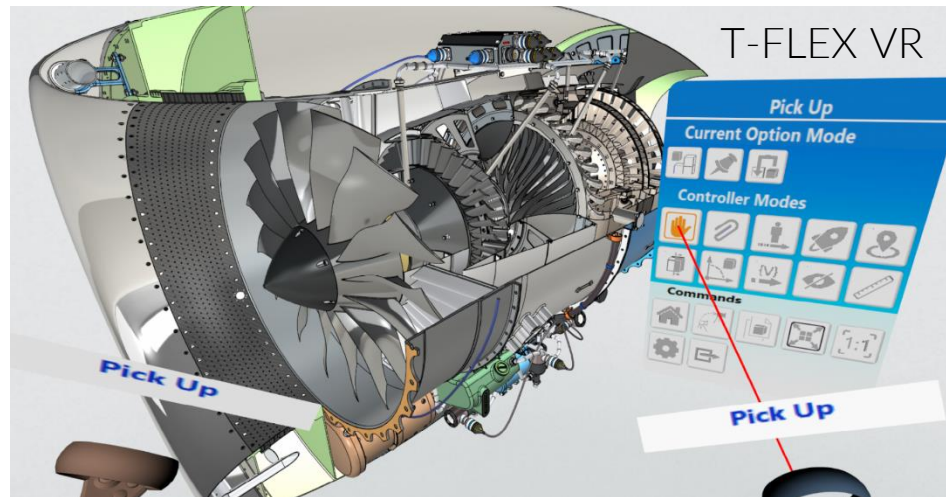
Sonic 3 : déplacement d'un obstacle

# Affordances & Signifiers en RV

Utilisation d'affordances and signifiers du monde réel



# Affordances & Signifiers en RV



# FEEDBACK

---



# Feedback

“Rétroaction”, “retours sensori-moteurs”

Consiste à communiquer à l'utilisateur les résultats de ses actions grâce à des informations explicites (Norman 2013)

Permet de savoir que ses actions ont été prises en compte, ce que ses actions ont eu comme conséquences

Ex : le bouton est appuyé, l'objet est déplacé...

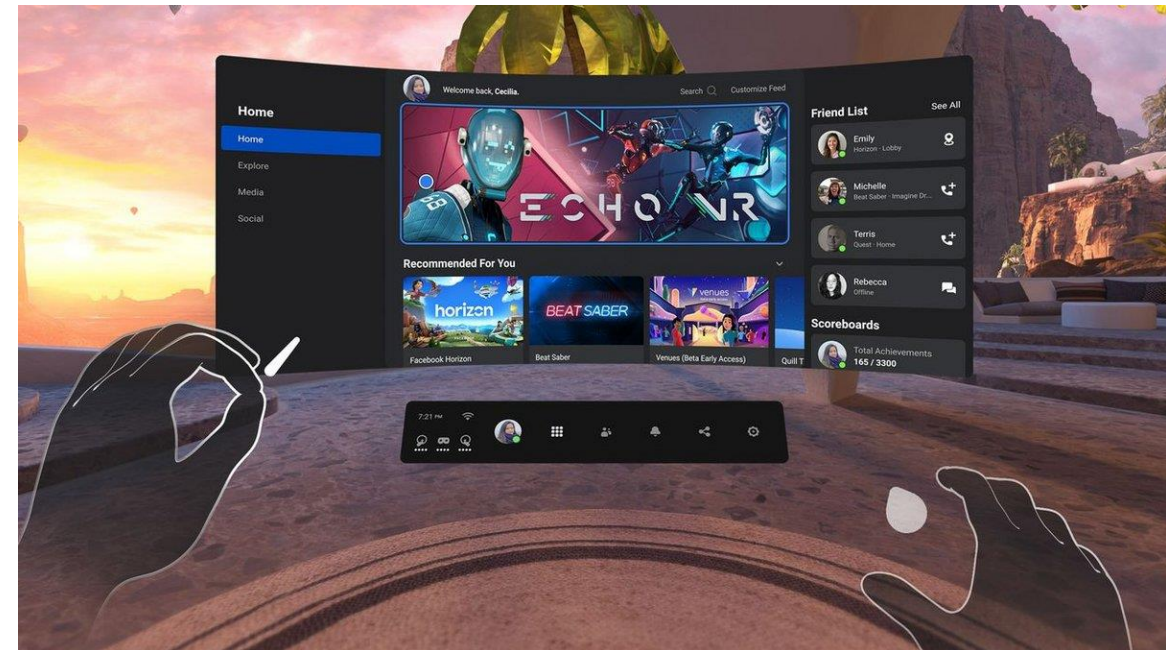
Permet de savoir que le système est en train de faire quelque chose

Ex: icone de chargement

Cf [1ère heuristique Nielsen](#) (visibility of system status)

Peut être positif/négatif

Conforter dans son action vs.  
indiquer une erreur ou une impossibilité



# Feedback

---

Toute action est associée à une attente, que le feedback vont confirmer ou non (“knowledge of result”)

Le feedback rassure, même si le résultat est négatif

Il est essentiel à l'apprentissage

Le manque de feedback crée un sentiment de manque de contrôle

Doit être fait de manière appropriée

Immédiat

Informatif

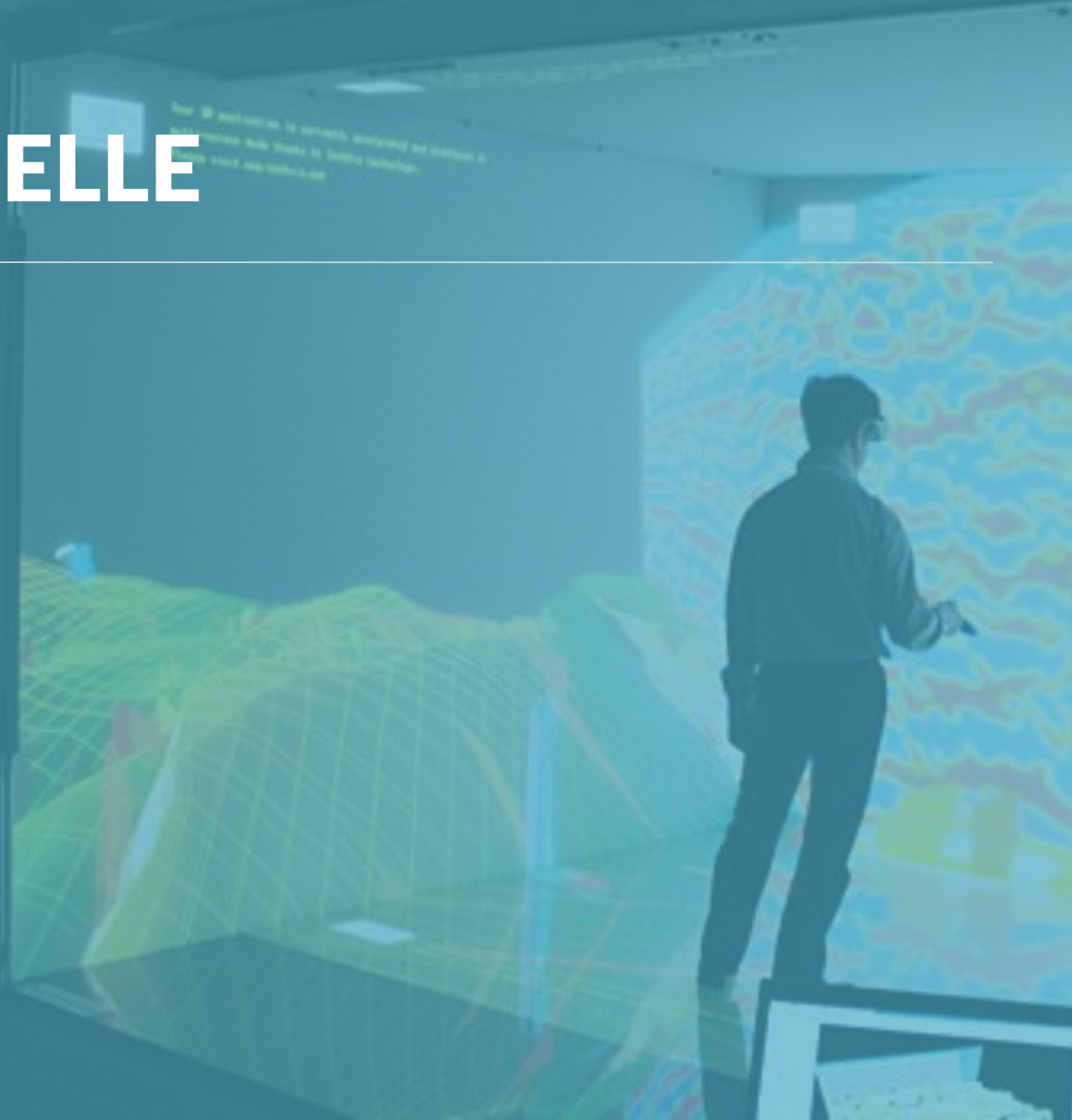
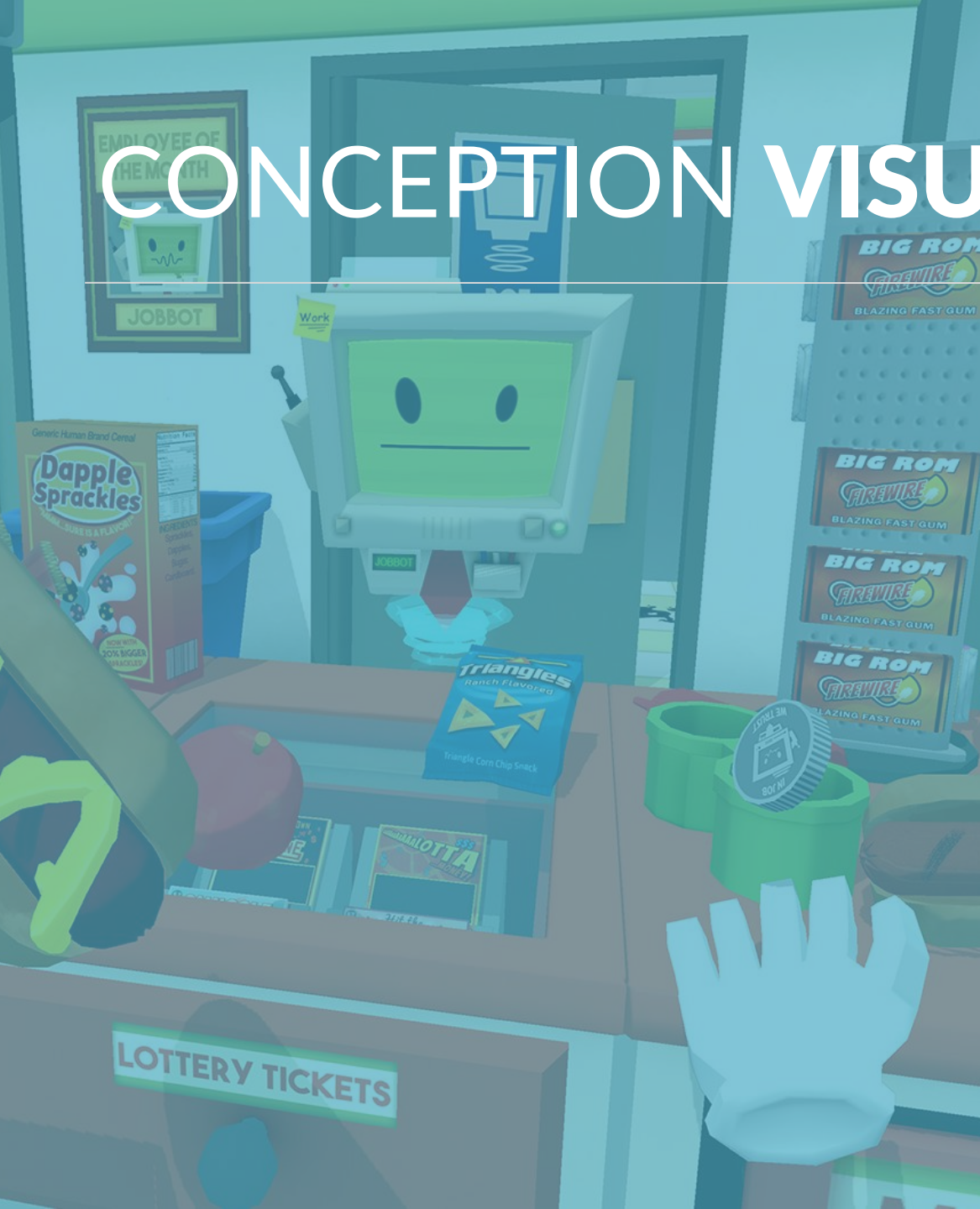
Un mauvais feedback peut être pire qu'aucun, et provoquer distraction, anxiété ou énervement

Planifié et priorisé

Informations importantes doivent capter l'attention, les autres ne doivent pas être intrusives

Trop de feedback peut être pire que pas assez

# CONCEPTION VISUELLE



# Outils visuels

## Types d'outils

Caméra(s)

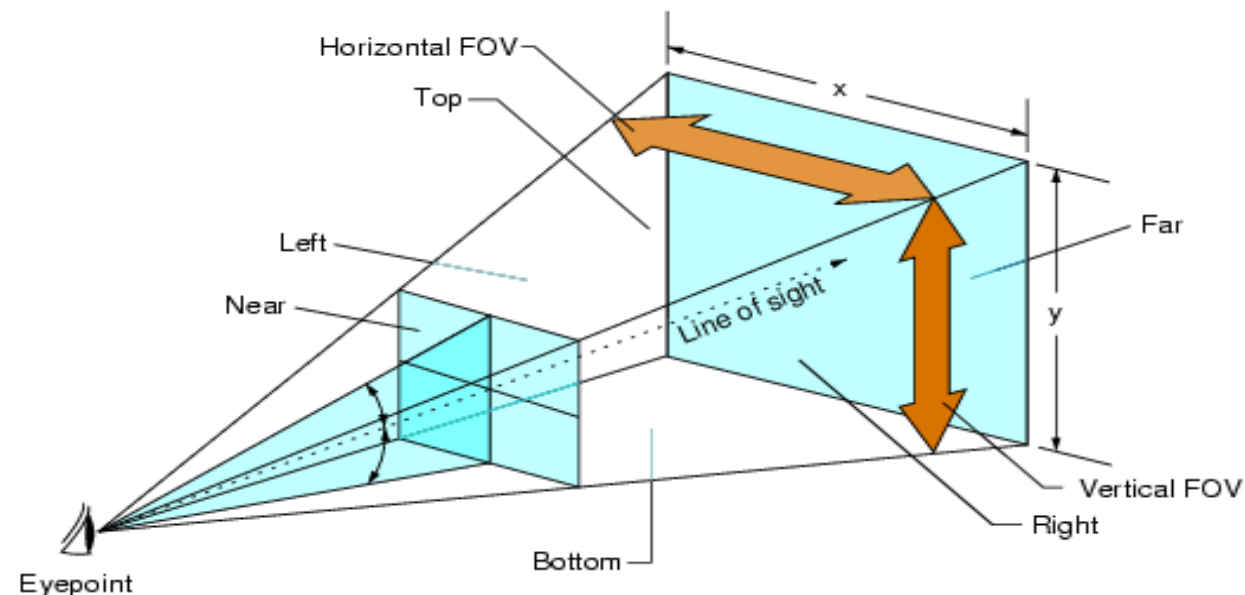
Objets 3D : métier, interactions, décors...

GUI : texte, menus...

Indications diverses : symboles...

Avatars

Lumières



## Effets modificateurs

Géométrie : mesh, transformations, niveau de détail

Matériaux : couleur, transparence, texture, shader

FX : particules, animations, éclairage...

Propriétés physiques ou comportementales : collisions, gravité, destruction, déplacement...

$$\text{Aspect Ratio} = \frac{y}{x} = \frac{\tan(\text{vertical FOV}/2)}{\tan(\text{horizontal FOV}/2)}$$

[SGI]

# Localisation spatiale

Contraintes physiologiques et technologiques

Champ de vision, acuité, ergonomie...

Résolution, champ de vision, eye tracking...

Zone optimale entre 1,25 et 5m

Interactions directes < 1m

Textes

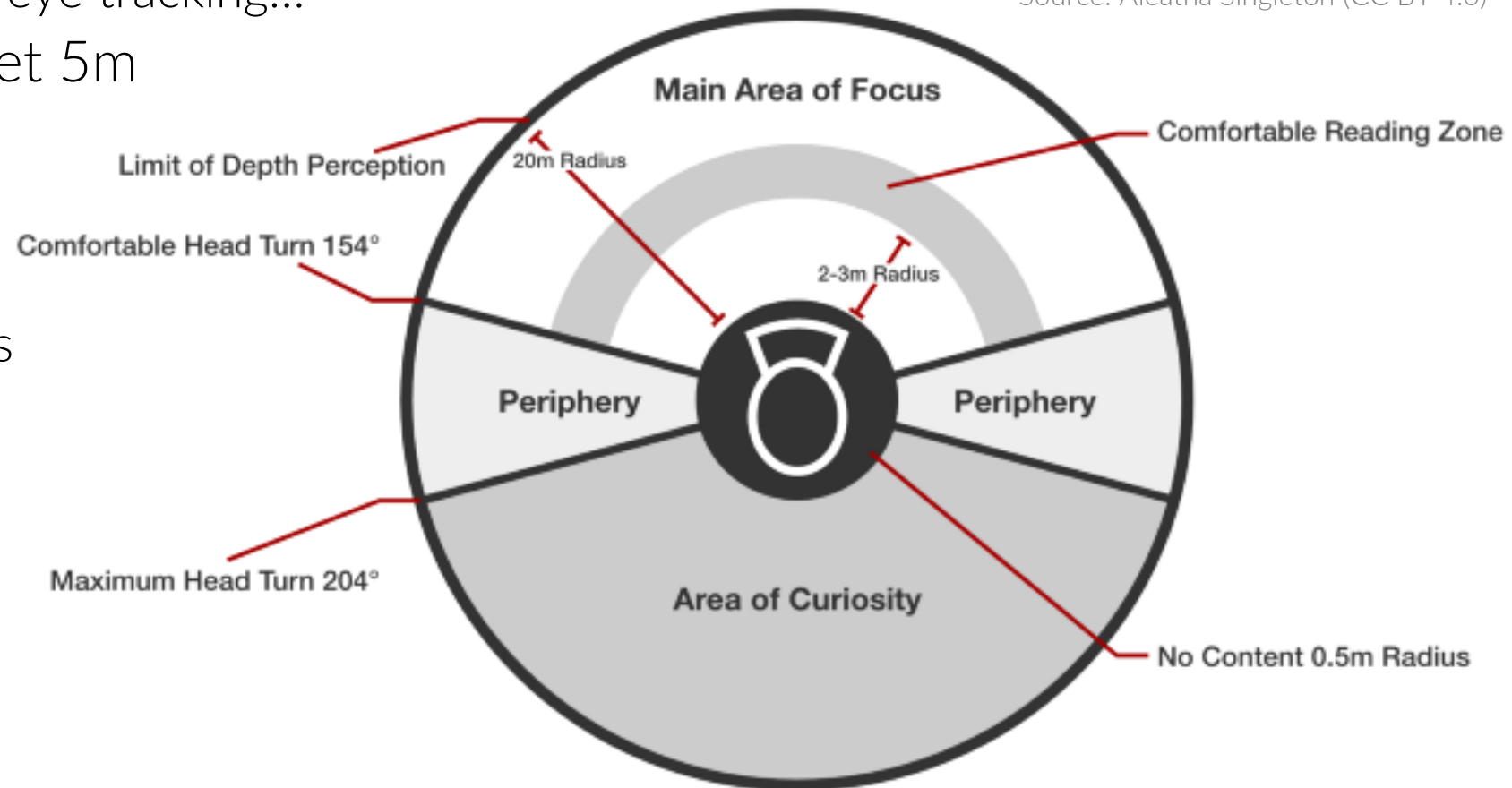
Courts

S'inspirer des affichages réels  
(panneaux, posters...)

Distance entre 1,2 et 3m

[Plus d'info. ici](#)

Source: Aleatha Singleton (CC BY 4.0)



# UI

Théorie de la diégèse/4<sup>ème</sup> mur

Non-diégétique

Éléments 2D, viseur, notifications...

Diégétique

Éléments 3D intégrés dans l'espace et cohérents avec l'expérience

Améliorent l'immersion

Spatial

Éléments 3D intégrés dans l'espace, mais non réalistes

Moins immersifs mais plus compréhensibles

Méta

Effets : secousses, flou, changement de couleur...



Source: Siddarth Kengadaran

# UI



"Exit Burrito", Job Simulator



FREEDIVER: Triton Down

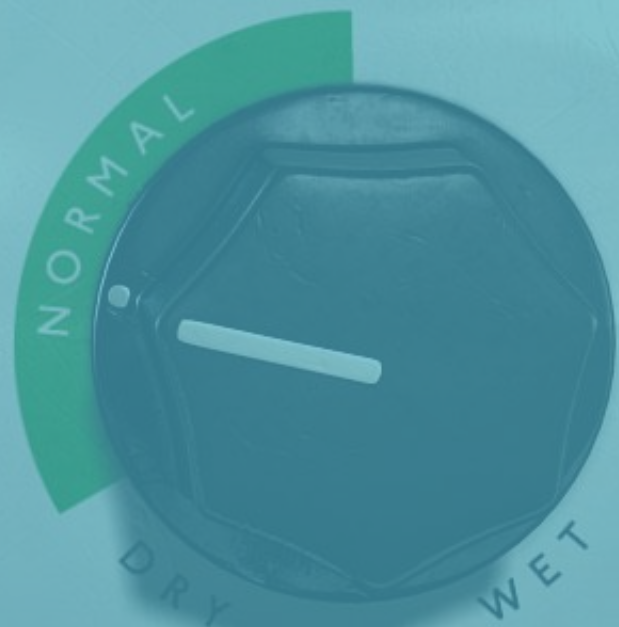


Doom VR



# Acoustic Feedback™

MADE BY SOFTUBE AB, SWEDEN



Mix



Feedback



Tolerance

ON



Power

Foot Control

From Guitar To Amp

# CONCEPTION AUDIO

# Outils audio

---

Sources sonores dans la scène

· Son simple ou complexe

Propriétés

· Volume, durée, fréquence, timbre

Spatialisation

· Position, orientation, vitesse, effets environnementaux...

# Types de sons

---

Icône auditive / Earcon

Sons ou motifs musicaux

Connus, enregistrés et utilisés pour accompagner des événements

Correspondance avec l'information à transmettre

Causale

*Ex : son de frottement pour déplacement d'un objet*

Métaphorique

*Ex : bruit de porte qui se ferme pour la fermeture d'une application*

Arbitraire

Ne peut être compris que par expérience ou apprentissage

*Ex : 'bip' simple lorsque l'utilisateur a réussi à atteindre une cible*

# Types de sons

---

## Earcons



Motifs musicaux

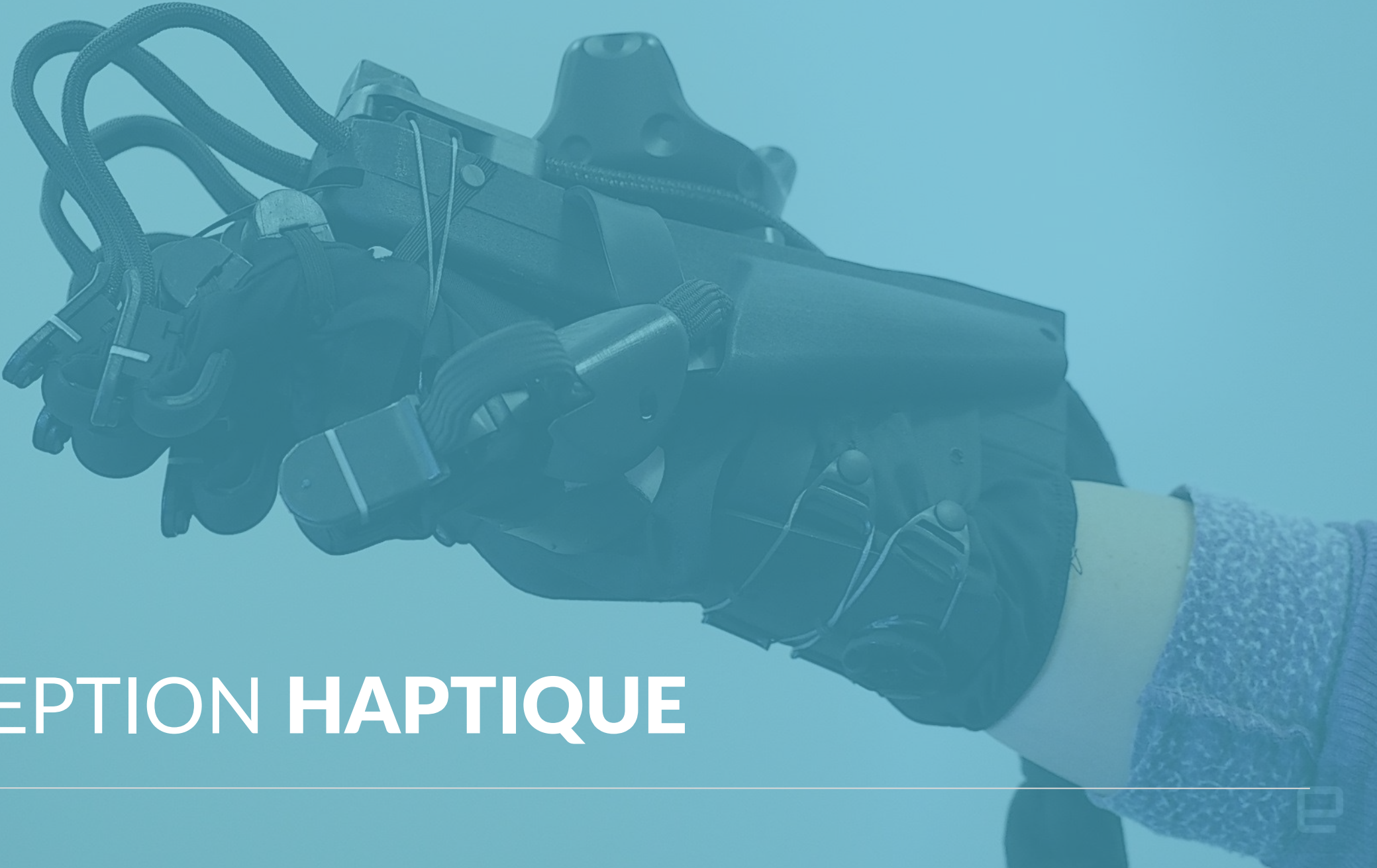
Abstraits et arbitraires : reconnaissables par apprentissage de leur rythme, de leur hauteur et de leur volume

## Message vocal

Soit diffusion d'enregistrements vocaux, soit génération informatique

Utile pour communiquer des informations linguistiques et/ou sémantiquement complexes à représenter via un autre rendu

## Musique, sons d'ambiance



# CONCEPTION HAPTIQUE

---

# Outils haptiques

---

## Forces & couples

Direction, intensité, profil, durée...

## Vibrations

Intensité, fréquence, durée, localisation spatiale...

(Similaire au signal audio)

# Ex.: Interaction haptique directe

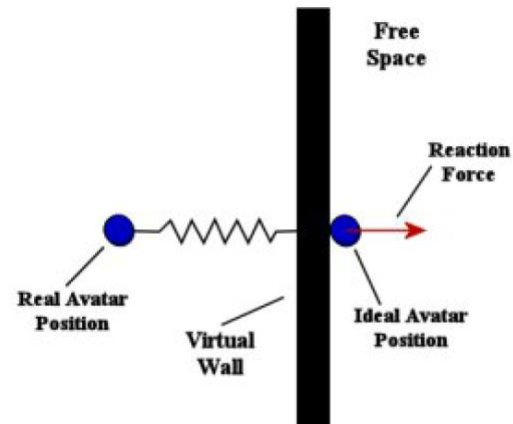
Transmettre les forces liées

aux efforts physiques des objets entre eux (collisions, frottements, déformations...)

à leurs propriétés (poids, inertie, texture...)

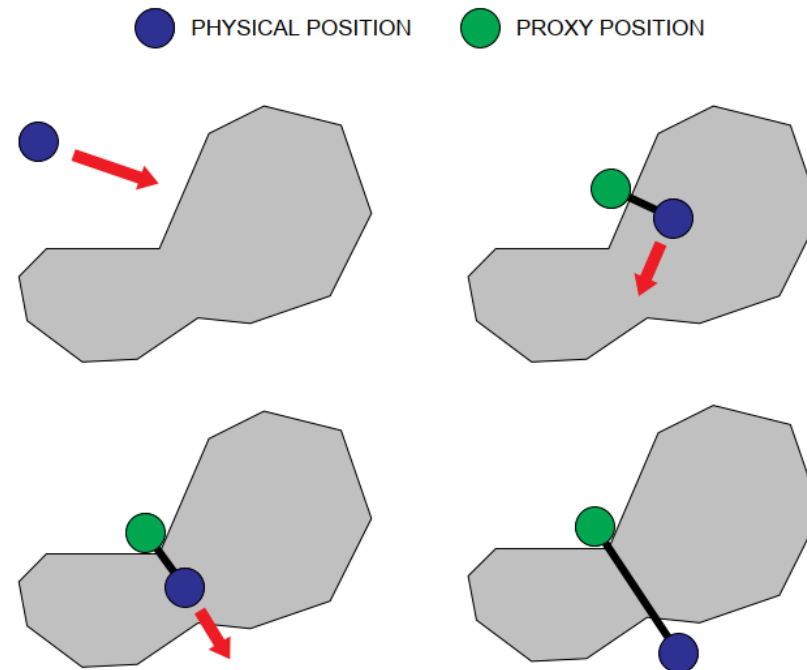
en fonction de la position de l'effecteur

= Détection de collisions + Calcul de forces/couples



$$F = \begin{cases} 0 & x > x_W \\ K(x_W - x) & x \leq x_W \end{cases}$$

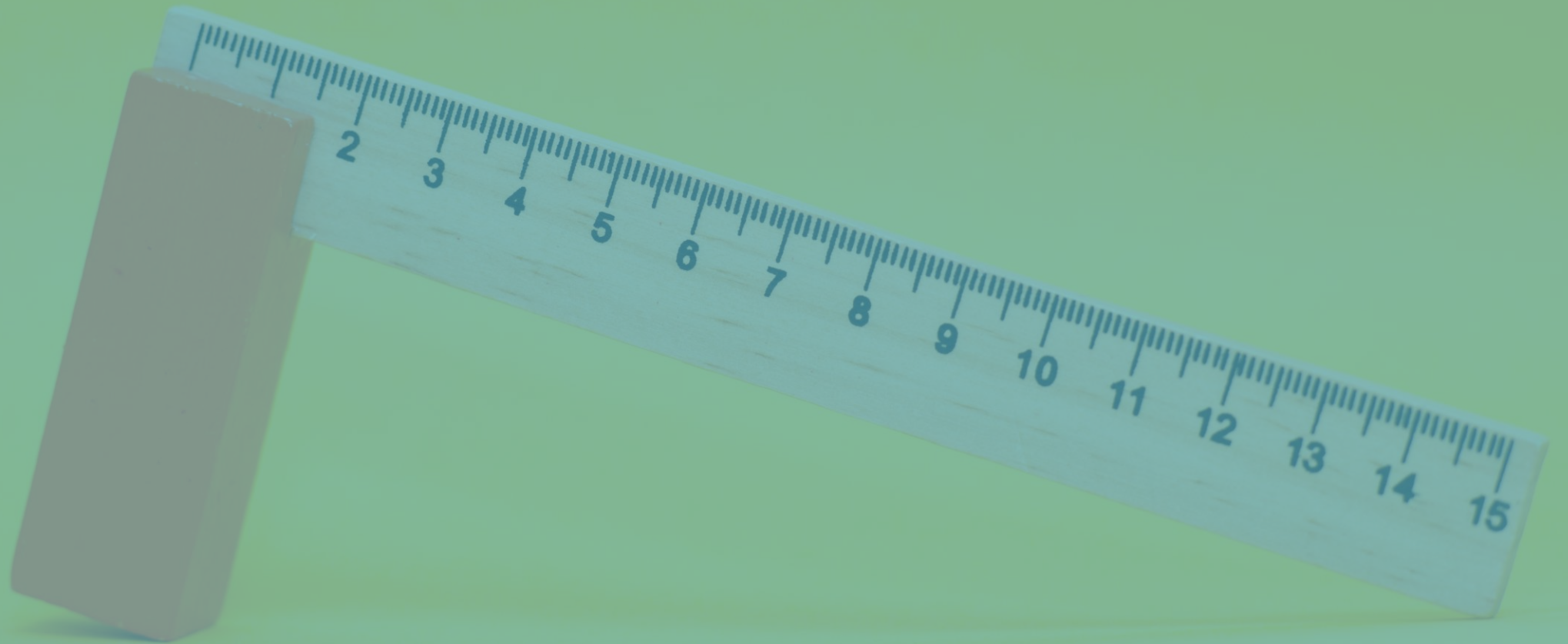
Virtual wall (source Salisbury 2004)



Virtual proxy (source Ruspini 1997)

# GUIDES VIRTUELS

---



# Guides virtuels

Tous types d'indices, de feedbacks ou d'interactions permettant l'assistance à atteindre un objectif ou respecter des contraintes

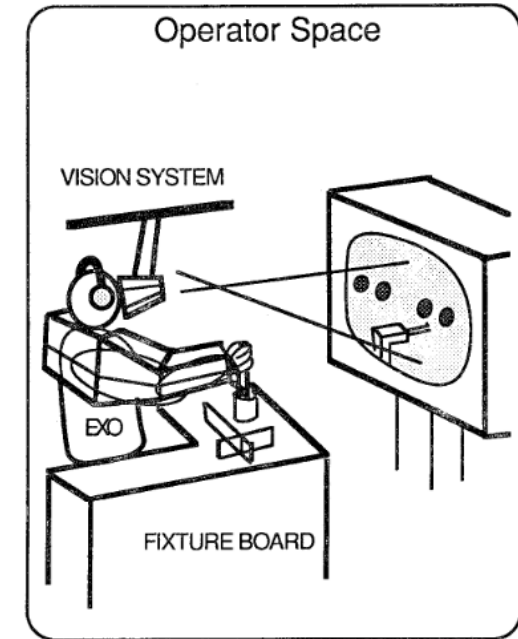
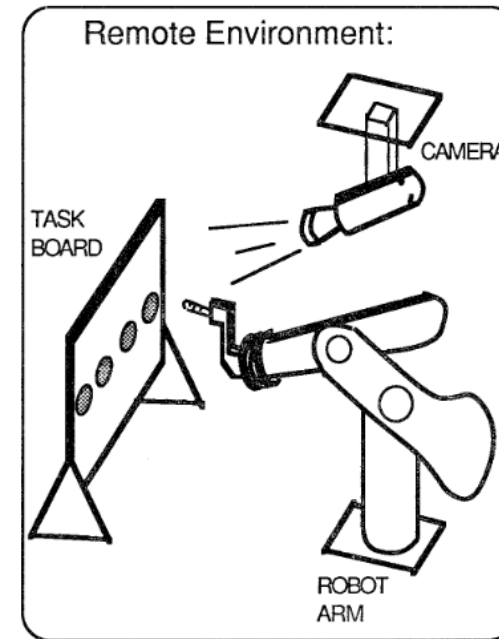
Visuels, audio ou haptiques

*Ex. : trajectoire optimale, coloration ou masquage des zones 3d à éviter, modèle physique (détection de collision)...*

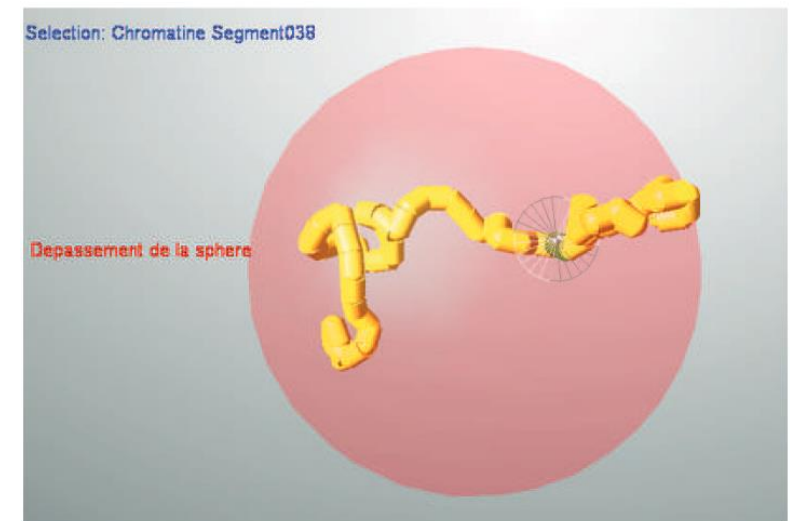
En particulier exploitation des correspondances/gains entre commande réelle et effet virtuel (Control/Display ou C/D Ratio)

*Ex : attraction/répulsion de l'effecteur virtuel, blocage contextuel des ddl*

(UK : Virtual Fixtures)



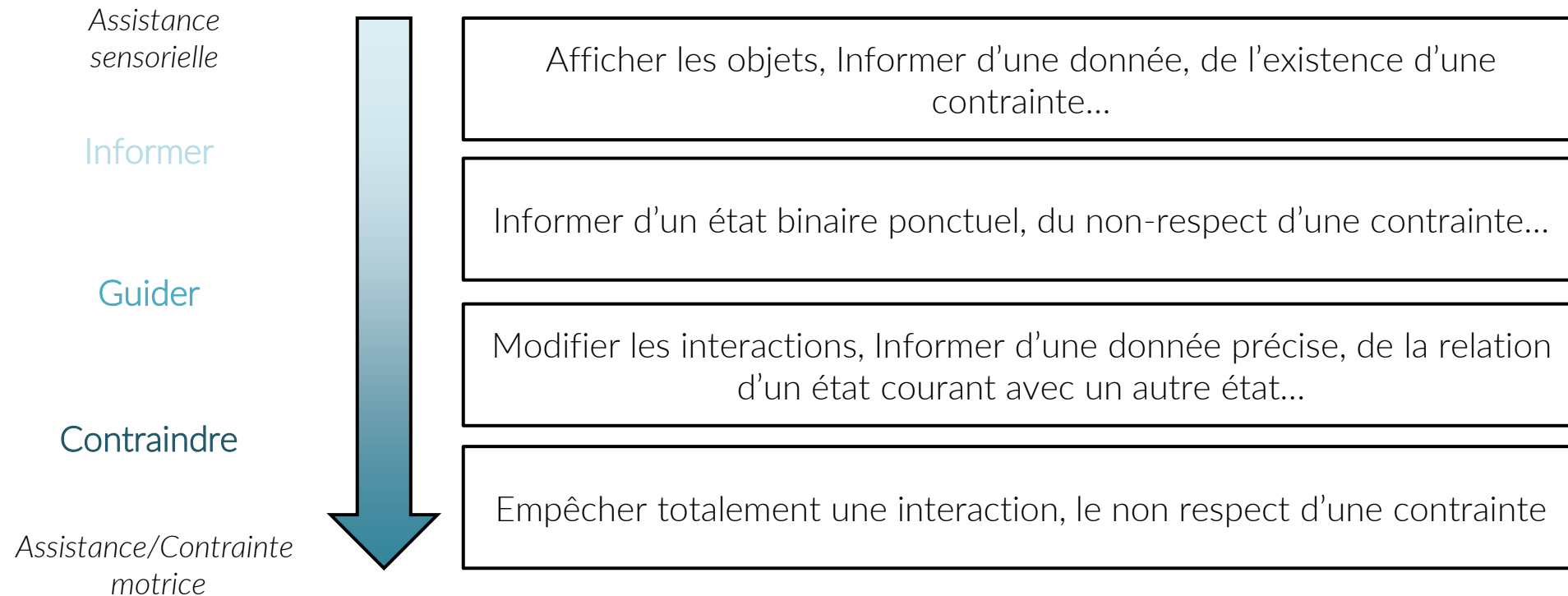
Virtual fixtures (source Rosenberg 1993)



(source Essabbah 2010)

# Degrés d'assistance

---



# Guides virtuels audio

---

## Auralisation

Cf. visualisation

Transmission directe d'une donnée numérique en tant que son

*ex : diffusion d'événements sismiques enregistrés*

Projection des attributs des données sur une ou plusieurs dimensions du son :

volume, durée, fréquence, timbre, localisation...

Autres techniques de traitement sonore qui accentuent ou atténuent un son :

distorsion, assourdissement...

Synthèse sonore ou vocale

génération informatique de signaux sonores par des fonctions et des combinaisons mathématiques  
(ex : synthèse physique)

# Guides virtuels haptiques

---

## Haptisation

Cf. auralisation

Transmission directe d'une donnée en tant que force/couple

*Ex : champ de vecteurs*

Projection des attributs des données sur des dimensions

de la force ou du couple (intensité, direction, fonction)

de la vibration (intensité, disposition, fréquence, profil)

# EXERCICES

---

# Exercice

---

## Assistance au tir dans un FPS immersif

Déterminez les besoins du joueur et les entités en jeu.

En suivant l'ordre des actions du joueur, proposez des éléments, des guides et des feedbacks visuels, audio et haptiques à mettre en place.



18

18

# Exercice

---

## Assistance au tir dans un FPS immersif

1. Afficher l'arme et la main
2. Percevoir les cibles
  - Affichage
  - Son spatialisé
3. Afficher un viseur : lorsque superposé à une cible, le tir l'atteindra
  - Changer l'apparence visuelle du viseur selon type de cible
  - Changer l'apparence visuelle de la cible
4. Assistance au ciblage : lorsque viseur proche de cible, attraction visuelle légère
5. Confirmation de tir
  - Son lié à l'arme
  - Effet visuel de l'arme
  - Projectile
6. Confirmation d'atteinte de la cible
  - Effet visuel d'impact
  - Animation d'impact
  - Confirmation d'élimination

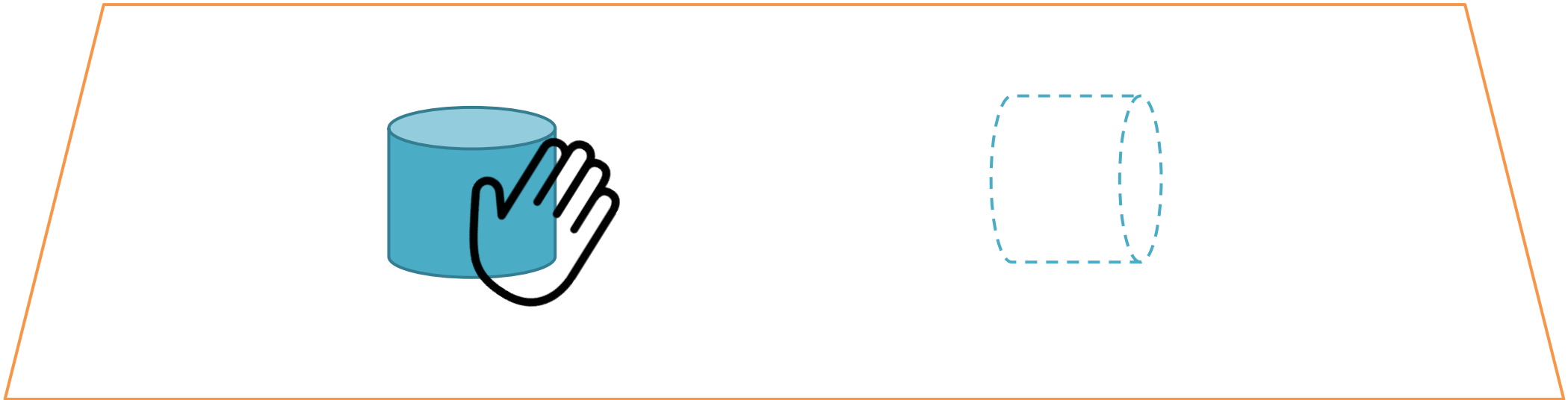
# Exercice

---

## Techniques de manipulation et guides virtuels

On cherche à déplacer un objet virtuel dans une position/orientation précise (par ex. pour l'apprentissage d'une procédure ou d'un geste technique).

On suppose une commande type main virtuelle à 6 ddl.



# Exercice

---

Techniques de manipulation et guides virtuels

Déterminez les **besoins** de l'utilisateur pour cette manipulation

Proposez des **techniques d'interaction, des guides et des feedbacks visuels, audio et haptiques** permettant d'assister l'opérateur dans cette tâche de manipulation

Détaillez leur fonctionnement

Identifiez les informations communiquées et le niveau d'assistance fourni

Discutez leurs avantages/inconvénients

# MULTIMODALITÉ

---

# Multimodalité

---

## Entrée/Sortie

Utilisation simultanée de plusieurs canaux de commandes ou de rendus

### Multimodalité en entrée

Naturel

Ex. *fusion commande gestuelle + vocale* ("[put that here](#)" 1980)

### Multimodalité en sortie

**Combinaison** d'outils (sur 1 ou plusieurs canaux) peut être plus efficace qu'un outil unique

**Redondance**

Plusieurs outils équivalents utilisés pour une tâche, chacun étant suffisant

**Complémentarité**

Plusieurs outils pour plusieurs aspects complémentaires d'une même tâche ou d'une même information

# Multimodalité

---

## Substitution sensori-motrice

Remplacement du canal sensori-moteur naturellement utilisé pour communiquer une perception ou une action

Ex :

*Radar de recul : Visuel -> Audio*

*Bip émis par un objet lors d'une collision avec un obstacle : Haptique -> Audio*

Distribution sur plusieurs canaux peut permettre de

Percevoir plusieurs informations simultanément

Diminuer la charge cognitive

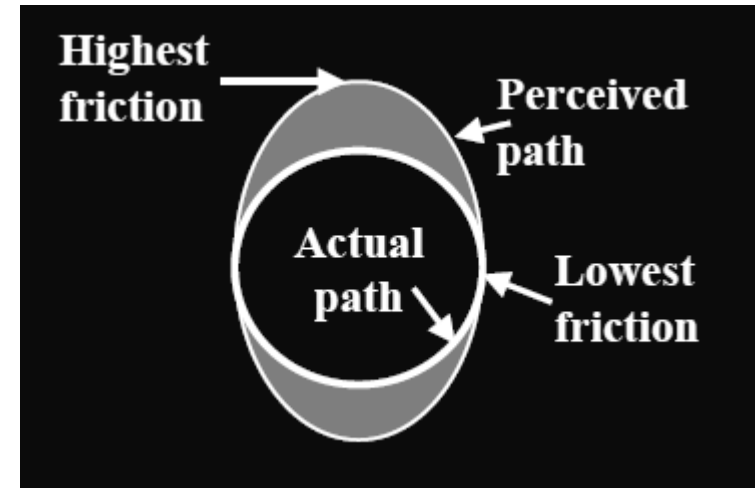
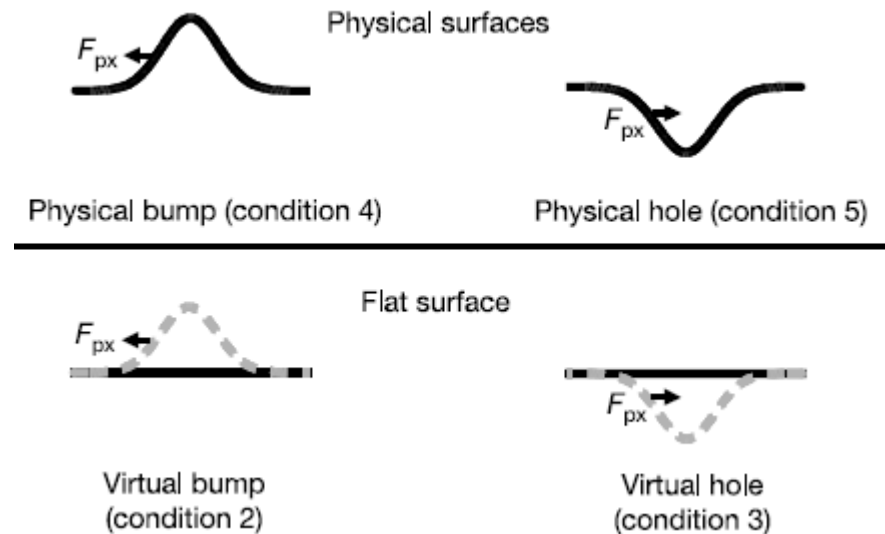
# Interactions multimodales



# ILLUSIONS MULTIMODALES

---

# Illusions visuo-haptiques

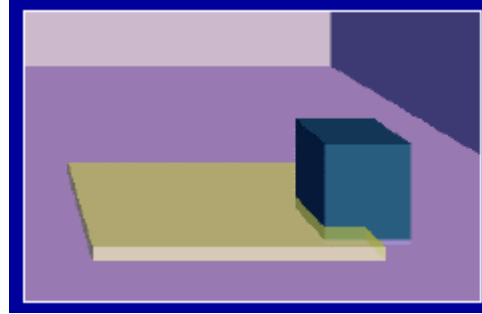


Illusion de trous et bosses par forces de freinage et de propulsion [Robles-De-La-Torre]

Illusions haptiques de courbure en mélangeant des indices de force et des indices géométriques [Gosline]

# Illusions visuo-haptiques

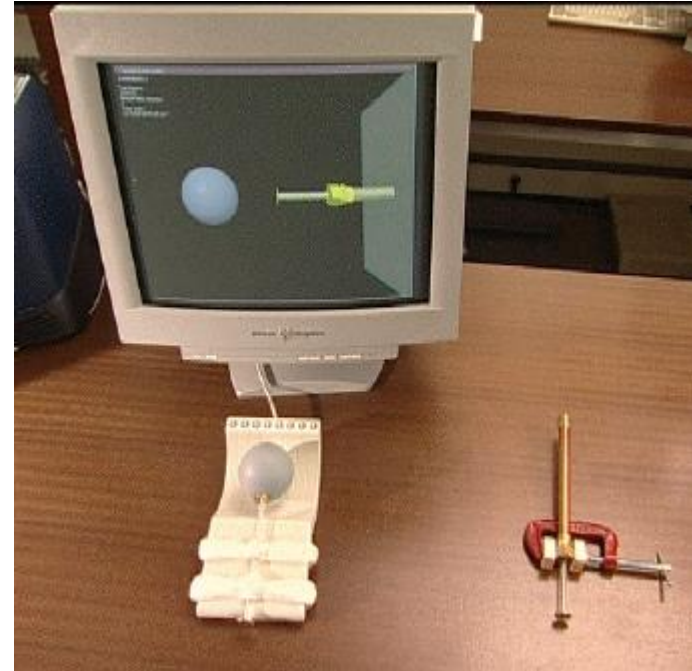
## Pseudo-haptique



*Simulation de frottement par modification du gain visuel*



*"Images tactiles"*



*Discrimination de raideur de ressort virtuel  
[A. Lécuyer]*



# « RÉALISME » ET INTERACTIONS

---

# Réalisme idéal ?

---

Proposer à l'utilisateur une expérience en EV identique au monde réel

Réalisme visuel : images HD, stéréoscopie, moteur graphique...

Réalisme auditif : sons HD, spatialisation, moteur sonore...

Réalisme comportemental de l'EV : moteur physique...

Interactions naturelles : schèmes comportementaux, déplacement réel, poids et efforts des objets...

Stimuler tous les canaux sensori-moteurs

Occultation totale du monde réel

Interfaces identiques aux caractéristiques humaines

# Limites

---

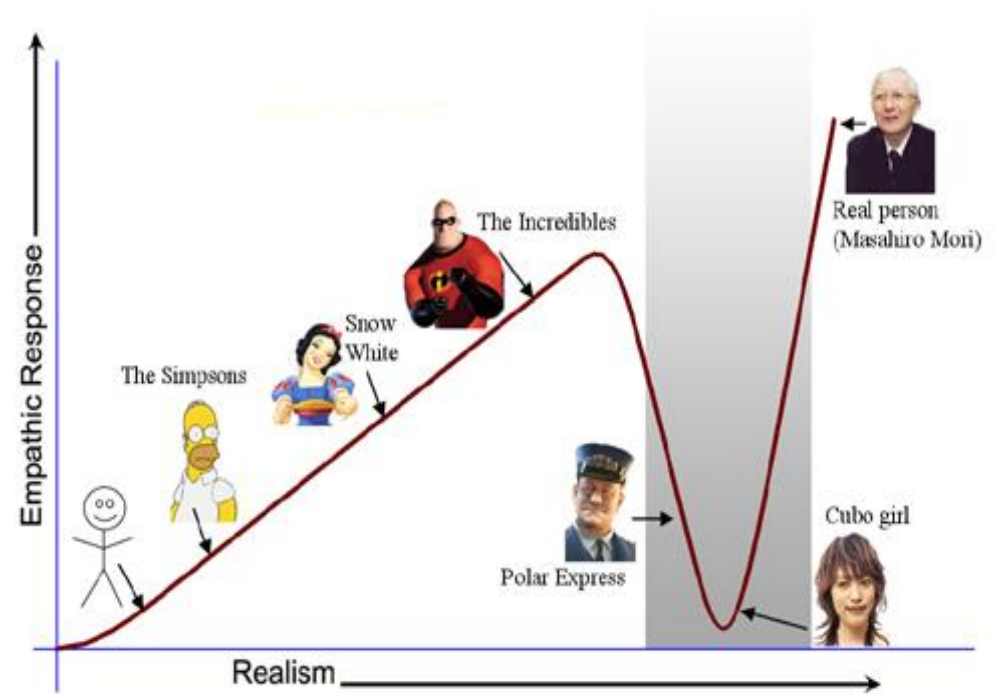
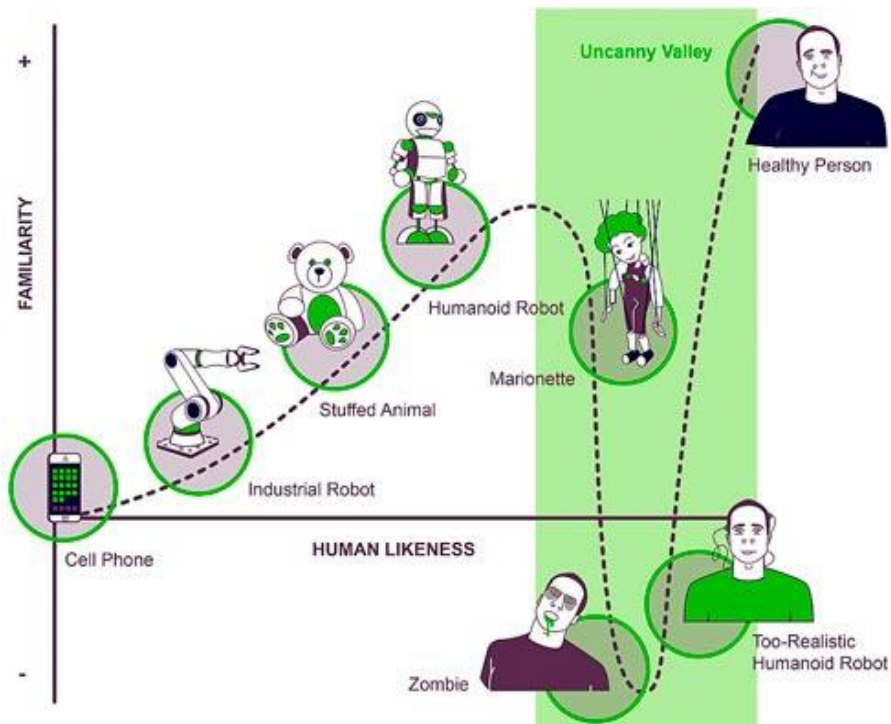
Technologies limitées ou inadaptées par rapport aux caractéristiques humaines

Transposition des schèmes comportementaux biaisée voire impossible

EV/I3D *non réaliste* > *presque réaliste*

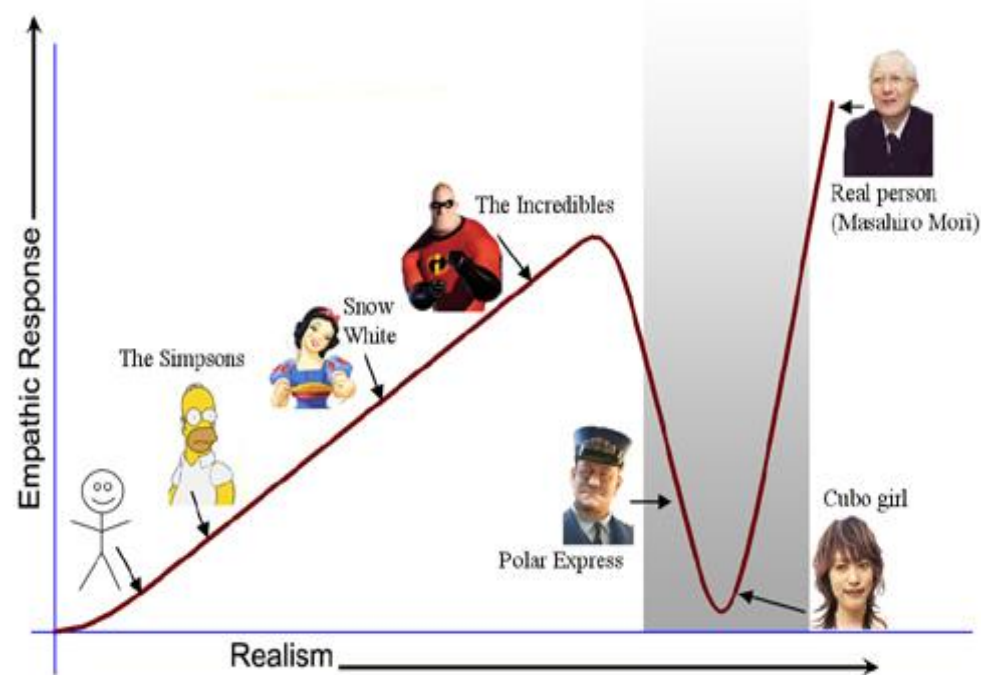
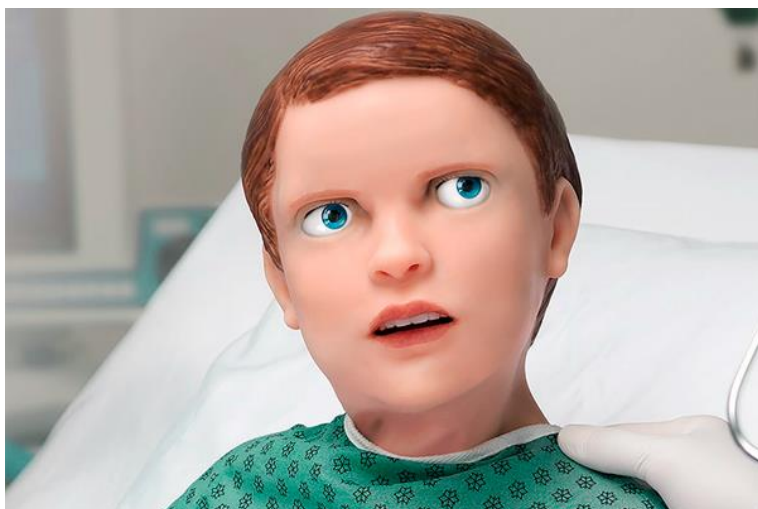
# Limites

## Uncanny Valley [Masahiro Mori, 1970]

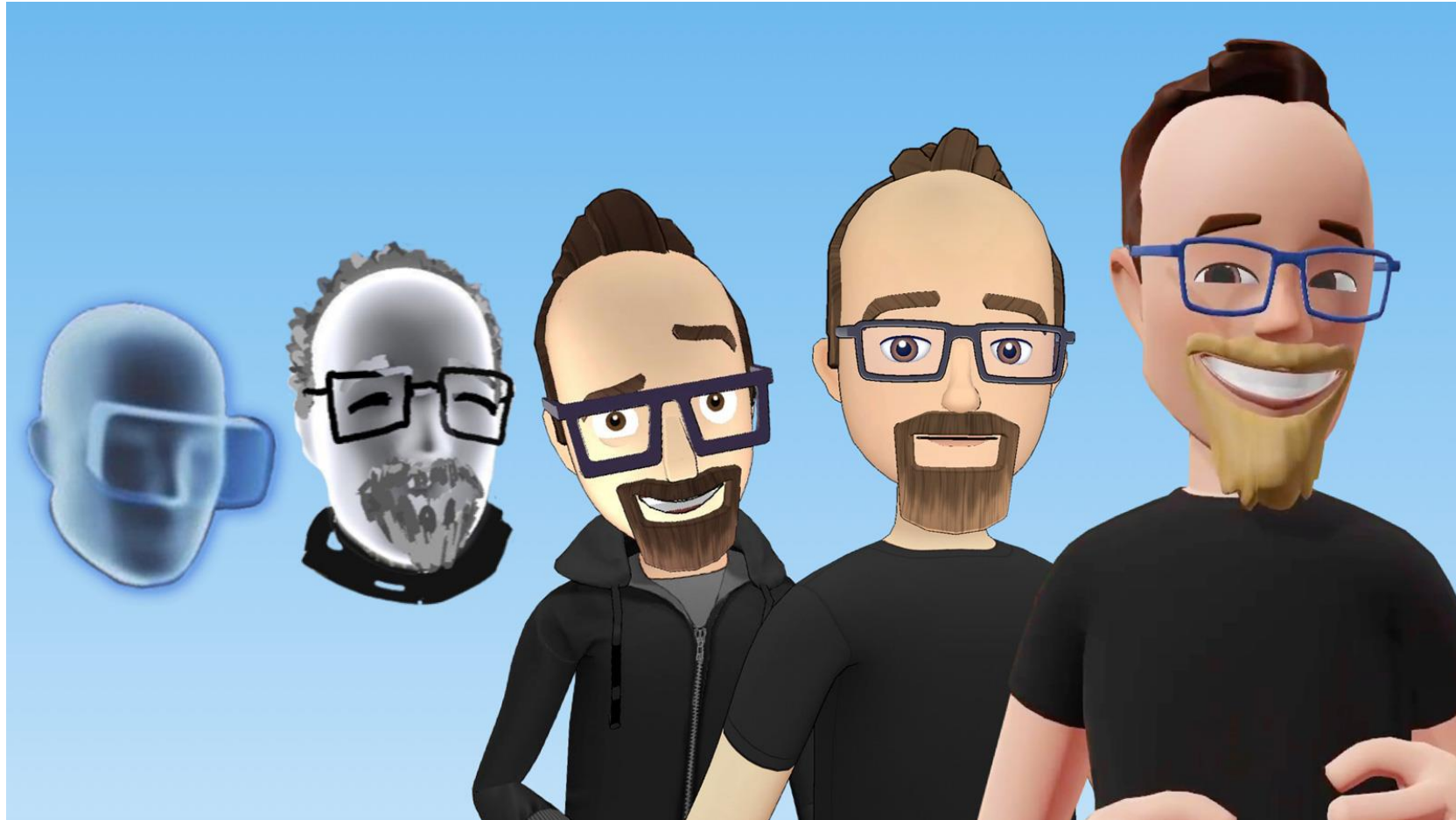


# Limites

Uncanny Valley [Masahiro Mori, 1970]



# Ex. : Cas des Avatars



Facebook Spaces <https://www.youtube.com/watch?v=FUllg1yFya8>

# Degré élevé de réalisme

---

Réalisme + poussé de certains aspects ciblés

Transposition de l'existant dans le virtuel

Besoins et applications

Caractère critique : entraînement médical, simulateurs (conduite, vol)

Besoin économique :

Prototypage virtuel : produit virtuel "ressenti" comme le produit final

Formation : tâche réalisée comme les professionnels

Objectif ludique : jeux vidéo

Difficultés et bénéfices

Technologiques : dispositifs visuels, périphériques d'interaction, calculateurs...

Logiciels : algorithmes, rendus...

Coûts économiques

Attractivité et diffusion

# Au-delà du réalisme

---

Applications, environnements et interactions nouveaux, efficaces et pertinents pour la tâche

« La réalité virtuelle permet à un utilisateur humain de s'extraire de la réalité physique pour changer virtuellement de temps, de lieu et/ou de type d'interaction »  
Définition fonctionnelle de la RV [Fuchs, 1996]

## Temps

passé, futur, perception irréaliste

## Lieu

Télé-présence, travail collaboratif distant, perception irréaliste

## Interactions

Non naturelles, impossibles, modèles physiques différents

# Changer virtuellement de temps

---

Autre temps : passé, futur

Perception irréaliste du temps : ralenti, accéléré, autres lois, sauts temporels...

*Ex. : Nantes en 1757, Laval en 1750, relativité virtuelle*



# Changer virtuellement de lieu

---

Plusieurs utilisateurs dans un même lieu virtuel (travail collaboratif, formation à distance, télé-médecine ...)

Télé-présence (visite virtuelle d'un endroit, d'un site)

Perception irréaliste du lieu :

- Changement de point de vue (repère non égo-centré)

- Avatar du sujet

- Point de vue d'une autre personne

# Changer virtuellement de type d'interaction

---

Navigation non naturelle :

Ex : vol 3D, accélération

Interaction non naturelle, impossible

Ex : atteindre des objets lointains

Modèles physiques différents

Modification de l'EV par le sujet immergé

# Fidélité d'interaction

---

Degré objectif d'exactitude avec lequel les actions du monde réel sont reproduites dans un système interactif  
(McMahan et al., 2012)

*Ex : balancer les bras vs. séquence de boutons pour frapper une balle de golf virtuelle*

Critères (McMahan, 2011)

Symétrie biomécanique

Symétrie de contrôle

Adéquation du système

# Fidélité d'interaction

---

"Naturalisme"

Vise à fournir le plus haut niveau de fidélité d'interaction possible

Concevoir des techniques d'interaction pour qu'elles fonctionnent exactement ou du moins aussi près que possible du monde réel

Utile pour l'entraînement au transfert ou à l'effort physique

# Fidélité d'interaction

---

## “Magie”

### Techniques magiques

Visent à améliorer l'expérience de l'utilisateur en réduisant la fidélité et en contournant les limites du monde réel

Essayent d'améliorer l'utilisabilité et les performances en donnant à l'utilisateur de nouvelles capacités et des méthodes non naturelles pour effectuer des tâches

*Ex : voler comme un oiseau*

### Techniques hypernaturelles

Utilisent des mouvements naturels (c.-à-d. augmentent la fidélité) mais les rendent plus puissants en donnant à l'utilisateur de nouvelles capacités magiques ou un guidage intelligent

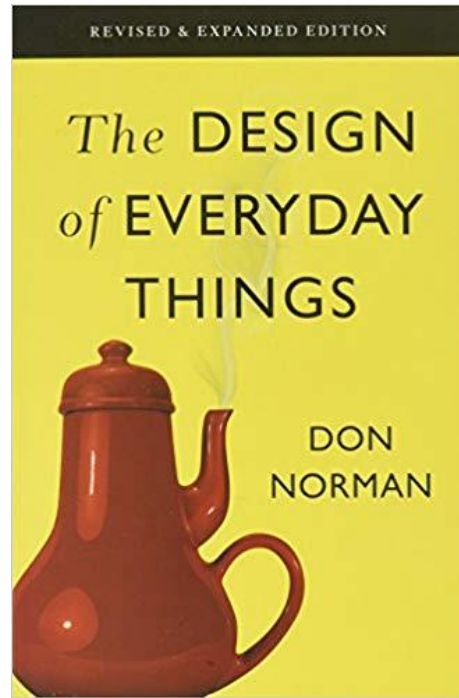
(Bowman, McMahan, & Ragan, 2012)

*Ex. : technique du go-go (Poupyrev, 1996)*

# CRITÈRES & RECOMMANDATIONS

---

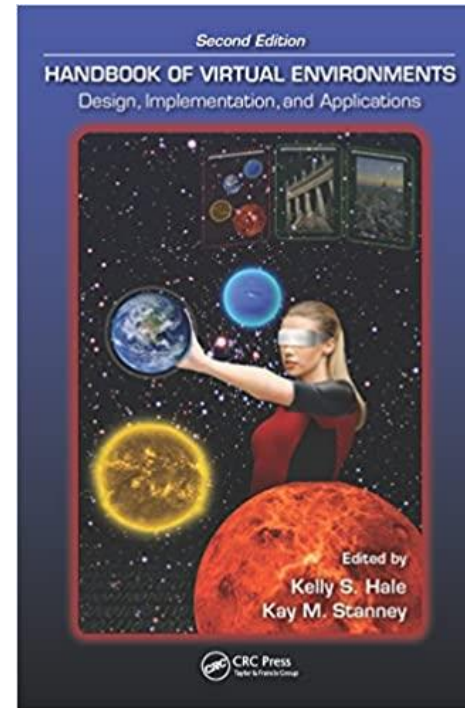
# Bibliographie



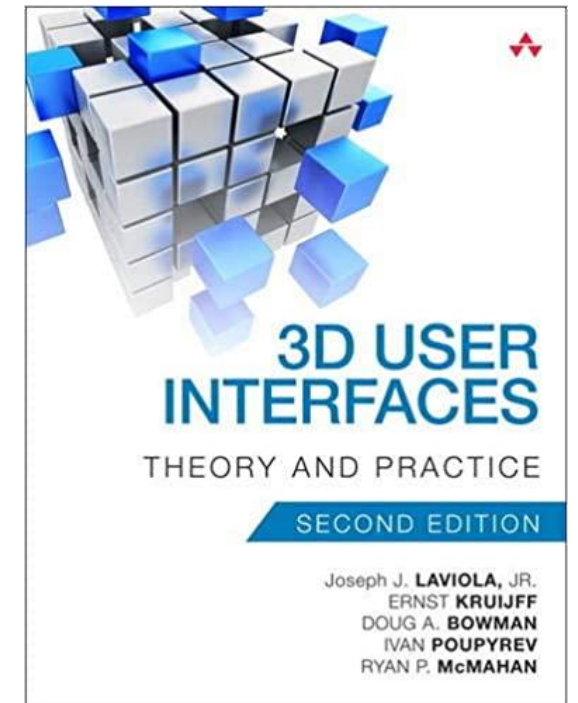
**NN/g** Nielsen Norman Group

World Leaders in Research-Based User Experience

<https://www.nngroup.com/articles/>



Chap. 12, « Principles for designing effective 3D interaction techniques », McMahan et al



# Critères/Mesures d'Utilisabilité Généraux

---

Capacité d'**apprentissage** : facilité à accomplir des tâches de base dès la première fois ?

*Ex. de mesures : temps nécessaire à un novice pour atteindre un certain niveau de performance, gains de performance à mesure que le temps augmente, évaluations subjectives...*

**Facilité** d'utilisation : la simplicité d'une technique du point de vue de l'utilisateur

*Ex : mesures de la charge de travail mental induite par la technique avec les auto-évaluations subjectives de l'utilisateur*

## Mémorisation

Après une période de non-utilisation, avec quelle facilité peuvent-ils restaurer leurs compétences ?

# Critères/Mesures d'Utilisabilité Généraux

---

## Confort

*Ex : mal du simulateur, fatigue oculaire, fatigue des mains... Généralement auto-déclarée*

## Satisfaction ou plaisir

La condition la plus importante pour le divertissement

*Ex : rapports subjectifs et questionnaires*

**Engagement** : implication de l'utilisateur avec un EV pendant une expérience

*Ex : questionnaires (Witmer & Singer, 1998) (McMahan et al., 2012)*

# Critères/Mesures de Performance

---

## Vitesse

Quantificateur classique de l'efficacité

*Ex : temps de réalisation d'une tâche*

## Précision/Erreurs

Exactitude avec laquelle une tâche est exécutée.

Degré de contrôle requis pour accomplir une tâche par rapport à la difficulté de la tâche.

*Compteur d'erreurs, distances de l'utilisateur ou de l'objet par rapport à la position ou à la trajectoire souhaitée...*

*Une technique de sélection est précise si elle permet une sélection précise et constante de petits objets.*

*Une technique de déplacement est précise si elle permet la navigation sur des chemins étroits sans collisions.*

# Critères spécifiques à des tâches

---

## Orientation spatiale

Connaissance par l'utilisateur de la disposition d'un espace et de sa propre position à l'intérieur

Peut constituer un critère de performance important dans les EV de grande taille, très occultés ou complexes

Affectée par le déplacement dans l'espace mais aussi par d'autres tâches d'interaction

## Collecte d'informations

Capacité de l'utilisateur à obtenir des informations sur l'environnement pendant qu'il s'y trouve

Peut être affectée par la facilité d'utilisation des techniques d'interaction choisies

# Recommandations Physiques

---

S'inspirer d'outils et de pratiques du monde réel

Réduire le poids et les câbles

Fournir des barrières physiques et virtuelles pour assurer la sécurité

Limiter l'interaction libre, prévoir un support pour les dispositifs

Concevoir pour des postures confortables, des sessions relativement courtes et encourager les pauses

Nettoyer les appareils

Utiliser un retour multimodal avec une correspondance spatiale et temporelle, réduire la latence.

Utiliser des contraintes, envisager des accessoires et un retour passif pour les tâches spécialisées.

# Recommandations Haut-Niveau

---

Pratiquer la **conception centrée sur l'utilisateur** et l'analyse des tâches

Suivre des **principes généraux** bien connus, ex :

The Design of Everyday Things (Norman, 1990)

Usability heuristics (Nielsen & Molich, 1992)

S'assurer que les tâches et techniques **s'intègrent** bien, ex :

Transition harmonieuse entre sélection et manipulation

Possibilité de sélectionner ou de manipuler tout en se déplaçant

Éviter les interactions involontaires dues aux erreurs de mode et au changement de technique pendant le contrôle du système...

# Ex: 10 Usability Heuristics for User Interface Design

---

(Jakob Nielsen 1994)

1: Visibility of system status

2: Match between system and the real world

3: User control and freedom

4: Consistency and standards

5: Error prevention

6: Recognition rather than recall

7: Flexibility and efficiency of use

8: Aesthetic and minimalist design

9: Help users recognize, diagnose, and recover from errors

10: Help and documentation

# Recommandations Techniques d'Interaction 3D

---

Il n'y a pas une unique meilleure technique

Utiliser les **techniques existantes**, à moins que la conception d'une nouvelle ne présente d'énormes avantages pour une application spécifique

**Adapter** les techniques aux dispositifs

Les techniques **magiques** sont utiles et intuitives

Envisagez **d'adapter l'environnement** plutôt que la technique d'interaction

# Recommandations Techniques d'Interaction 3D

---

Les **interactions égo-centrées** peuvent être précises et naturelles

Exploiter la proprioception de l'utilisateur

*Ex une ceinture à outils virtuelle : peut choisir ses outils sans regarder*

Si la tâche est intrinsèquement 1D ou 2D, des métaphores d'interaction 2D bien connues peuvent être utilisées directement ou adaptées.

*Ex : menus déroulants ou pop-up, boutons 2D*

L'interaction à **deux mains** peut être plus précise

La saisie à une main limite la flexibilité et l'expressivité

Les deux mains permettent de spécifier des relations spatiales arbitraires

*Ex : distance entre les mains, torsion*

Fournir des techniques d'interaction **redondantes** pour une seule tâche

# Recommandations Sélection

---

## Utilisabilité

Main virtuelle simple si toute la sélection est à portée de main

## Performance

Technique de pointage pour une sélection performante

Augmentez la précision en augmentant le ratio Control-Display

## Naturalisme

Main virtuelle simple pour une sélection plus naturelle

## Spécifique

Concevoir l'environnement de manière à maximiser la taille perçue des objets.

Envisager le *snapping* d'objets pour les EV où le nombre d'objets sélectionnables est limité

# Recommandations Manipulation

---

## Général

Utiliser des contraintes générales ou spécifiques à l'application

## Performance

Augmenter la précision en réduisant les DOF

Utiliser la manipulation indirecte si la précision est plus importante que la vitesse

## Naturalisme

Main virtuelle pour une manipulation plus naturelle

Augmenter la probabilité de transfert de la formation en utilisant un mapping direct

## Spécifique

Envisager des mouvements non isomorphes pour réduire le *clutching*.

# Recommandations Navigation

---

## Général

Considérer des techniques magiques et naturelles

Faire des transitions en douceur entre les zones

Utiliser des mouvements physiques pour les tâches de manœuvre

Choisir une technique qui peut être facilement combinée avec d'autres techniques d'interaction

Plusieurs techniques pour différentes tâches de déplacement dans la même application

Les tâches de déplacement les plus courantes doivent nécessiter un effort minimal

## Performances

Technique basée sur le contrôle de direction plutôt que les mouvements physiques pour une exploration et une recherche performante

Technique basée sur une sélection de cible pour les déplacements vers un objectif

# Recommandations Navigation

---

## Naturalisme

Technique de locomotion physique pour des déplacements plus naturels ou si l'utilisateur doit fournir un effort.

Marche redirigée pour une exploration et une recherche plus naturelles

## Spécifique

Utiliser des indices d'orientation pour aider l'utilisateur à décider où se déplacer

Fournir un marqueur "vous êtes ici" sur une carte.

Techniques de manipulation manuelle pour les déplacements axés sur la manipulation

Formez les utilisateurs si des stratégies sophistiquées sont nécessaires pour acquérir des connaissances spatiales.

N'utilisez pas la téléportation instantanée mais des transitions si les informations spatiales sont importantes.

# Recommandations Contrôle

---

## Général

Ne pas perturber le flot d'action d'une tâche d'interaction, en particulier en changeant de focus ou de contexte

Fournir des indices ou une formation pour aider à découvrir ce qui est possible

Éviter les erreurs de mode

Utiliser un espace approprié dans un référentiel approprié

Structurer les fonctions et guider l'utilisateur

Envisager des techniques 2D

Utiliser des séquences de tâches de contrôle du système "objet d'abord"

# Recommandations Contrôle

---

## Performance

Méthode de sélection 2D ou 1D lorsque vous interagissez avec un menu graphique.  
Vérifier les commandes si la précision est plus importante que la vitesse

## Naturalisme

Enoncés redondants et intuitifs si commandes vocales  
Gestes avec symétrie biomécanique élevée

## Spécifique

Utiliser des commandes multimodales  
Réduire le nombre de commandes si commandes vocales ou gestuelles.

# BILAN

---

# Bilan

---

En pratique, dans la plupart des cas :

- Mélange aspects réalistes et non-réalistes

- Transposition des usages pré-RV

- Réutilisation de techniques d'interactions bien connues : main virtuelle, ray-cast...

- Respecter les besoins, les usages et l'ergonomie des utilisateurs finaux

- Commande 6 dof (main virtuelle ou ray casting) avec boutons

Des interactions bien conçues pallient des interfaces limitées

# Conclusion

---

“If technology doesn’t work for people,  
then it just doesn’t work”

Lund A. 1996, Ergonomics in Design 4(4), 5-11